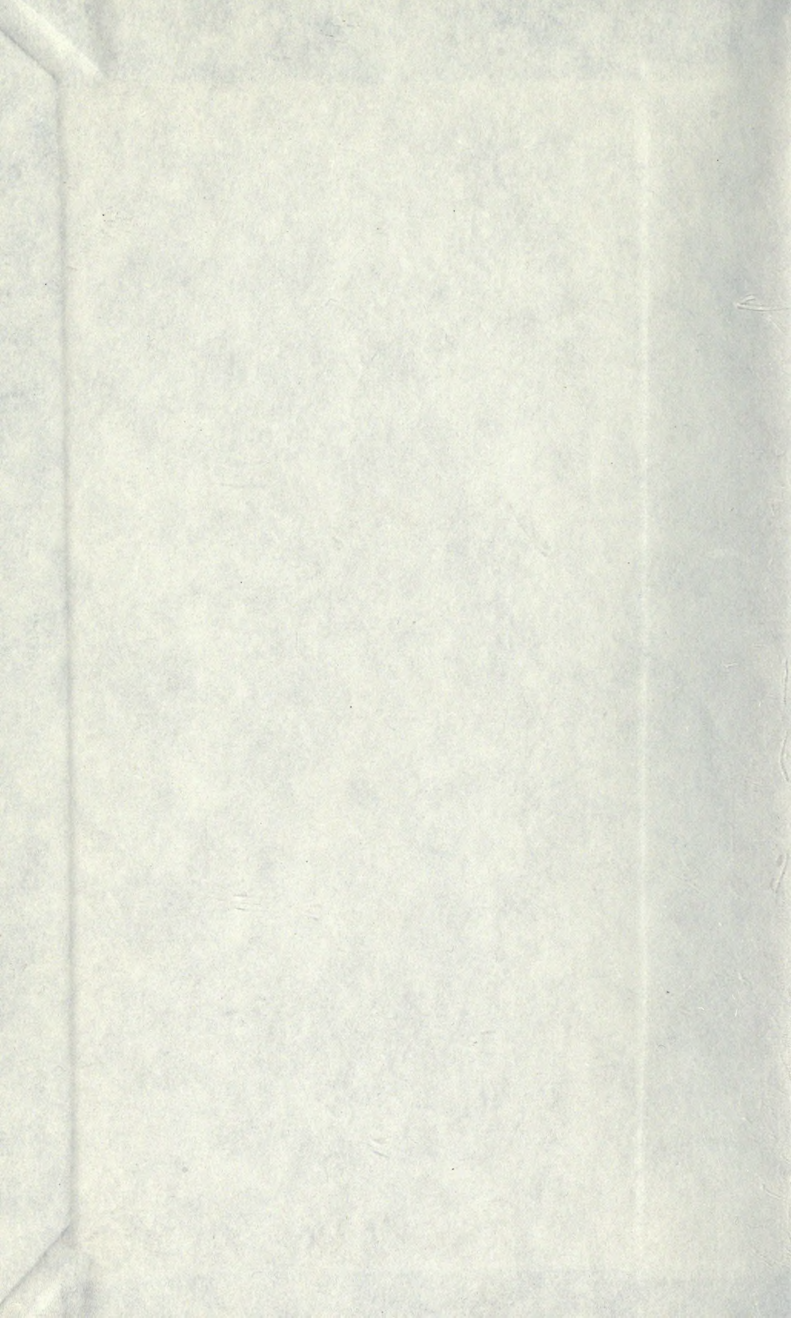
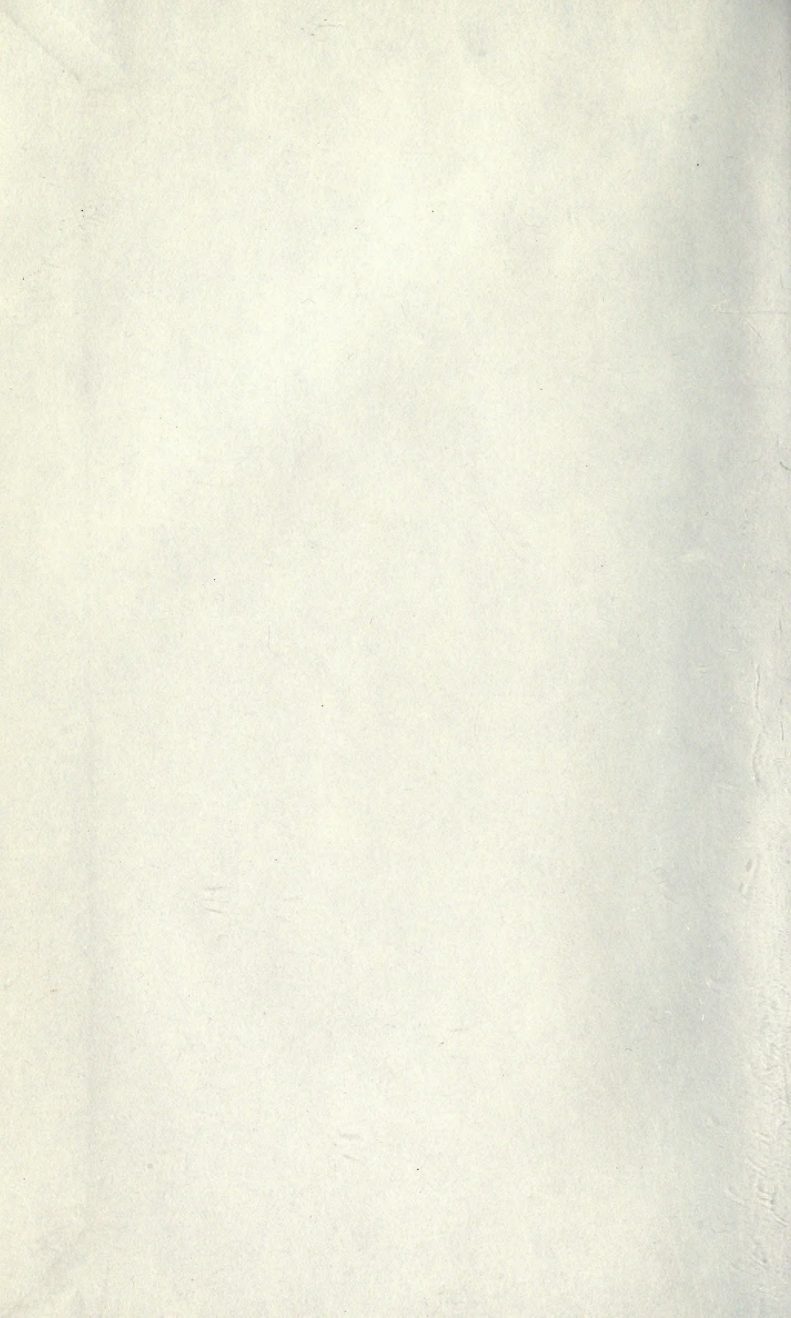
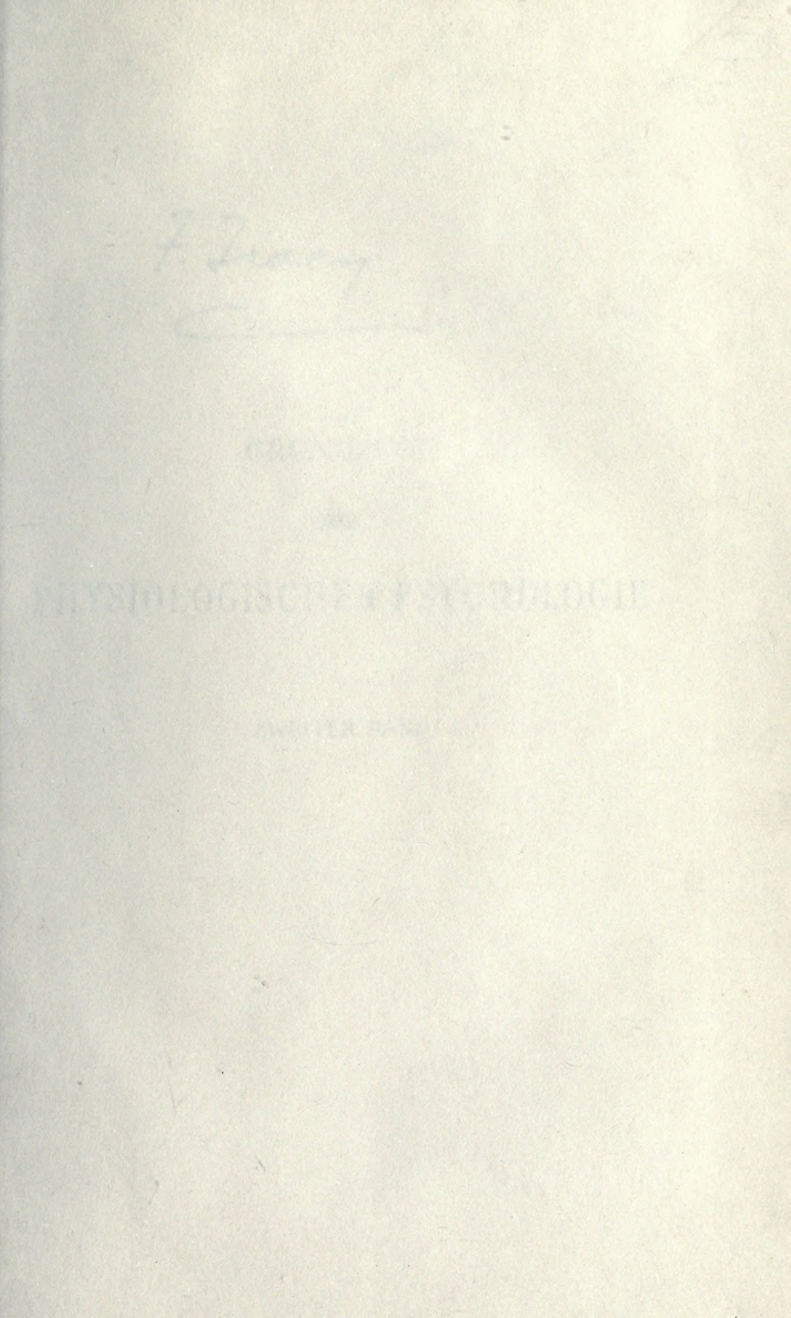
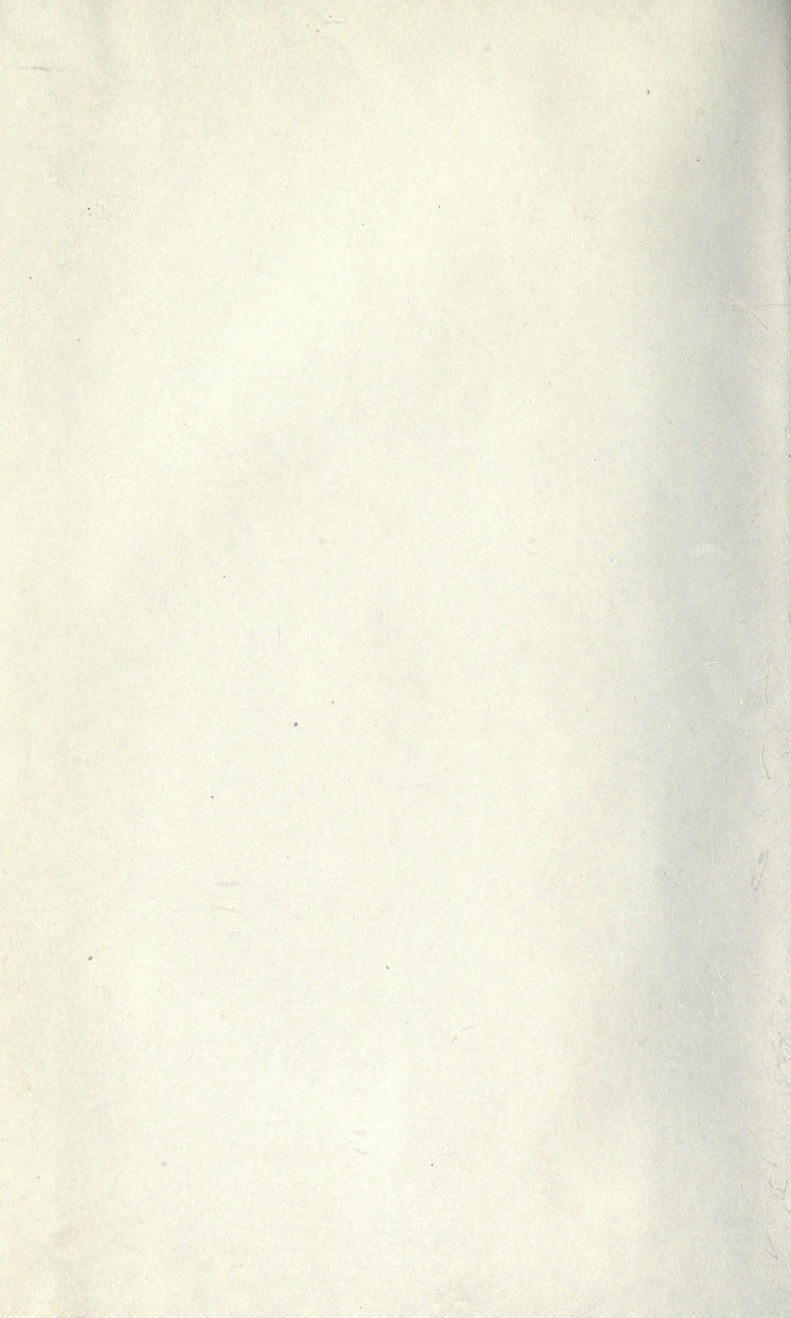

3 1761 04709855 3











GRUNDZÜGE

DER

PHYSIOLOGISCHEN PSYCHOLOGIE

ZWEITER BAND

GRUNDZÜGE

DER

PHYSIOLOGISCHEN PSYCHOLOGIE

VON

WILHELM WUNDT
PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT ZU LEIPZIG

FÜNFTE VÖLLIG UMGEARBEITETE AUFLAGE

ZWEITER BAND

MIT 153 ABBILDUNGEN IM TEXT

LEIPZIG
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN
1902

Inhalt des zweiten Bandes.

Zweiter Abschnitt.

Von den Elementen des Seelenlebens.

(Schluss.)

Seite

Zehntes Capitel. Qualität der Empfindung 1

1. Tast- und Gemeinempfindungen 1
   a. Allgemeine Uebersicht dieser Empfindungen 1
   b. Aeußere Tastempfindungen 4
   c. Druck-, Temperatur- und Schmerzpunkte der Haut 8
   d. Innere Tastempfindungen 19
   e. Physiologische Substrate der inneren Tastempfindungen 24
   f. Gemeinempfindungen 42

2. Geruchs- und Geschmacksempfindungen 46
   a. Geruchsempfindungen 46
   b. Geschmacksempfindungen 52

3. Schallempfindungen 63
   a. Die Schallreize und die Formen der Schallempfindung 63
   b. Die Tonempfindungen 70
   c. Schwebungen und Combinationstöne 93
   d. Absorption und Verschmelzung von Tönen 110
   e. Die Geräuschempfindungen 122
   f. Theorie der Gehörsempfindungen 126

4. Lichtempfindungen 139
   a. Die einfachen Farben 139
   b. Farbengrad und Farbenmischung 146
   c. Stärke der Lichtempfindung 159
   d. Adaptation der Netzhaut und locale Unterschiede ihrer Erregbarkeit . . 171
   e. Verlauf und Nachwirkungen der Netzhauterregungen 188
   f. Contactwirkungen der Netzhauterregung: Contrasterscheinungen 207

Sei

g. Anomalien der Farbenempfindung: Farbenblindheit 22
h. Hypothesen über Licht- und Farbenempfindungen: Componententheorien 23
i. Grundzüge der Stufentheorie 24
k. Theorie der Contrasterscheinungen 25

Elftes Capitel. Gefühlselemente des Seelenlebens 26

1. Methoden der Gefühlsanalyse 26
 a. Die Eindrucksmethode 26
 b. Die Ausdrucksmethode 26
2. Grundformen der Gefühle 28
 a. Subjective Gefühlsanalyse 28
 b. Objective Gefühlssymptome 29
3. Eigenschaften der einfachen Gefühle 30
 a. Begriff des einfachen Gefühls 30
 b. Intensitätsänderungen der Gefühle 30
 c. Qualitative Unterschiede der einfachen Gefühle 31
 d. Zeitlicher Verlauf der einfachen Gefühle 33
 e. Das Contrastprincip der Gefühle 33
4. Verbindungen der einfachen Gefühle 34
 a. Partialgefühle und Totalgefühle 34
 b. Das Gemeingefühl 34
 c. Associationen der einfachen Gefühle 34
5. Allgemeine Theorie der Gefühle 35
 a. Psychologische Bedeutung der Gefühle 35
 b. Die Gefühle als psychophysische Vorgänge 35

Dritter Abschnitt.

Von der Bildung der Sinnesvorstellungen.

Zwölftes Capitel. Intensive Gehörsvorstellungen 37

1. Die Gehörsvorstellungen als intensive Vorstellungsverbindungen 37
 a. Allgemeines über Begriff und Formen der Vorstellung 37
 b. Intensive und extensive Vorstellungen 37
 c. Grundformen der Gehörsvorstellungen 37
2. Geräuschformen 37
 a. Allgemeine Bedingungen der Geräuschbildung 37
 b. Die Sprachlaute als typische Formen der Geräuschvorstellungen . . . 38
 c. Eintheilung der Geräusche und psychologischer Charakter ihrer Hauptformen 38

Seite

3. Klangformen 392
   a. Constante und variable Klangverwandtschaft 392
   b. Directe Klangverwandtschaft 396
   c. Indirecte Klangverwandtschaft 404

4. Theorie der intensiven Gehörsvorstellungen 415
   a. Tonabsorption und Tonverschmelzung als Factoren der Schallvorstellungen 415
   b. Consonanz und Dissonanz 421

Dreizehntes Capitel. Räumliche Tastvorstellungen 439

1. Localisation der Tastempfindungen 439
   a. Die Raumschwelle des Tastsinns 439
   b. Physiologische Bedingungen der Raumschwelle. Die Empfindungskreise. 449
   c. Veränderungen der Raumschwelle durch psychologische Bedingungen . 453

2. Wahrnehmungen der Größe und Gestalt der Objecte 458
   a. Die Tastwahrnehmungen Sehender 458
   b. Die Tastwahrnehmungen Blinder 465

3. Die Vorstellungen der Lage und der Bewegungen des eigenen Körpers 472
   a. Lagevorstellungen 472
   b. Bewegungsvorstellungen 474

4. Localisation der Gehörsempfindungen 486

5. Theorie der Localisation und der räumlichen Tastvorstellungen 489

Vierzehntes Capitel. Räumliche Gesichtsvorstellungen . . . 501

1. Netzhautbild des ruhenden Auges 501
   a. Sehschärfe im directen und indirecten Sehen 501
   b. Der blinde Fleck und die Metamorphopsien 509
   c. Visirlinien und Umfang des Sehfeldes. Accommodation und Irradiation 515

2. Bewegungen des Auges 519
   a. Anordnung und Drehungsmomente der Augenmuskeln 519
   b. Die Primärstellung und das LISTING'sche Gesetz 524
   c. Princip der constanten Orientirung und der Correspondenz von Fixation und Apperception 531

3. Einfluss der Augenbewegungen auf die Ausmessung des Sehfeldes 536
   a. Einfluss der Bewegungsgesetze auf die Ordnung der Punkte im Sehfeld 536
   b. Die Schärfe des Augenmaßes 541
   c. Normale Täuschungen des Augenmaßes (Geometrisch-optische Täuschungen) 544
   d. Gesichtstäuschungen bei Augenmuskellähmungen 576

Seite

4. Wahrnehmung bewegter Objecte 577
   a. Relativität der Bewegungsvorstellung. Scheinbewegungen 577
   b. Stroboskopische Erscheinungen 580
   c. Gesichtsschwindel 585
5. Binoculare Wahrnehmungen und Tiefenvorstellungen 587
   a. Synergie der Bewegungen des Doppelauges 587
   b. Convergenz und Accommodation 594
   c. Einfluss der binocularen Blickbewegungen auf die Localisation im Sehfeld 600
   d. Princip der häufigsten Verbindung: allgemeine Form des Sehfeldes . . 610
   e. Das Stereoskop und die binocularen Wettstreitserscheinungen 623
   f. Directe und associative Factoren der Tiefenvorstellungen im binocularen und monocularen Sehen 639
6. Theorie der räumlichen Gesichtsvorstellungen 653
   a. Die nativistische Theorie 653
   b. Die empiristische Theorie 661
   c. Die Theorie der complexen Localzeichen 668

Druckfehler.

Seite 291 Anm. 1 Z. 2 statt WALTER GENT lies WERNER GENT.

Zweiter Abschnitt.

Von den Elementen des Seelenlebens.

(Schluss.)

Zehntes Capitel.

Qualität der Empfindung.

1. Tast- und Gemeinempfindungen.

a. Allgemeine Uebersicht dieser Empfindungen.

Die äußere Haut ist verschiedener qualitativ wohl zu unterscheidender Empfindungen, wie Druck, Kälte, Wärme, Schmerz, fähig. Mit diesen Empfindungen scheinen diejenigen qualitativ nahe verwandt zu sein, die innere Gewebe und Organe, wie Schleimhäute, Muskeln, Knochen, Gelenke, Drüsen u. s. w., wenn geeignete äußere oder innere Reize sie treffen, vermitteln können, und die man unter dem Namen der Gemeinempfindungen zusammenfasst. Da sich überdies beiderlei Empfindungen häufig verbinden, so erscheint es angemessen, sie auch in der Betrachtung zu einem großen Empfindungsgebiet zu vereinigen.

Die Analyse dieser Empfindungen begegnet hauptsächlich zwei Schwierigkeiten. Die erste besteht in der unbestimmten qualitativen Beschaffenheit vieler Gemeinempfindungen, einer Unbestimmtheit, deren hauptsächlichster Grund darin liegen dürfte, dass sie unter normalen Verhältnissen zu schwach und unter abnormen zu stark sind. Alle Empfindungen werden aber am deutlichsten bei einer mittleren Intensität, am unvollkommensten in der Nähe der Reizschwelle und Reizhöhe unterschieden. Die zweite Schwierigkeit liegt darin, dass die meisten Haut- und Gemeinempfindungen von zusammengesetzter Beschaffenheit sind, und dass wir sie häufig

nicht mit Sicherheit in ihre Bestandtheile zu sondern vermögen. Dieses Hinderniss macht sich vorzugsweise bei denjenigen Empfindungen geltend, die in inneren Reizen ihre Quelle haben, also vor allem bei den Gemeinempfindungen, außerdem aber auch bei den an die Bewegungen und Stellungen der Theile unseres Körpers gebundenen Empfindungen. Indem die inneren Reize, aus denen sie entspringen, unserer unmittelbaren Beobachtung unzugänglich sind, entziehen sie sich meistens zugleich einer willkürlichen Variation, und es wird daher in der Regel unmöglich, anzugeben, ob eine bestimmte Empfindung aus mehreren von einander unabhängigen Reizungsvorgängen hervorgegangen sei oder nicht.

Zum Zweck der psychologischen Untersuchung scheiden wir dieses ganze Gebiet angemessen in drei Classen von Empfindungen: 1) in die äußeren Tastempfindungen; unter ihnen wollen wir alle durch das äußere Tastorgan, die Haut, vermittelten Empfindungen verstehen, welche durch äußere Sinnesreize, z. B. durch den Druck von Gewichten, durch äußere Temperatureinwirkungen u. s. w., erzeugt werden; 2) in die inneren Tastempfindungen; so wollen wir diejenigen an die Function der Tastorgane gebundenen Empfindungen nennen, die in inneren Reizen ihren Grund haben, welche durch die Lage eines beweglichen Körpertheils, durch die Bewegung der Tastorgane, sowie durch die Kraftleistungen ihrer Muskeln irgendwie ausgelöst werden; 3) in die Gemeinempfindungen, unter denen wir schließlich alle sonstigen aus inneren Reizen hervorgehenden und in dem physiologischen oder pathologischen Zustand der Organe begründeten Empfindungen verstehen. Diese drei Classen von Empfindungen bilden demnach eine Stufenfolge, in der die inneren Tastempfindungen zwischen dem vollständig den übrigen Sinnesorganen gleichgearteten äußeren Tastsinn und den Gemeinempfindungen in der Mitte stehen. Den letzteren gehören sie insofern an, als sie auf inneren Reizen beruhen und darum auch auf unser subjectives Gesammtbefinden, das Gemeingefühl, von größerem Einflusse sind als die äußeren Sinnesempfindungen. Mit dem äußeren Tastsinn stehen sie deshalb in einem näheren Zusammenhang, weil sie fortwährend mit ihm zusammenwirken und in diesen Verbindungen einen wichtigen Einfluss auf die Bildung unserer Vorstellungen gewinnen. Eine eigenthümliche Zwischenstellung zwischen den Tast- und Gemeinempfindungen nehmen endlich noch die Schmerzempfindungen ein, die ebensowohl im Gebiet des Tast- wie des Gemeinsinnes vorkommen können[1].

---

[1] Es scheint mir nicht berechtigt, den Schmerz nur als ein Gefühl, das andere Empfindungen begleitet, nicht aber selbst als eine Empfindung anzuerkennen. (Vgl. z. B. ALFR. LEHMANN, Das Gefühlsleben. 1892, S. 38.) Der Schmerz ist Empfindung und heftiges Unlustgefühl zugleich. Als Empfindung kann er sich mit andern Empfindungen, wie

Vor allem bei den Haut- und Gemeinempfindungen thut es noth, daran zurückzuerinnern, dass wir unter einer Empfindung überall nur eine einfache Bewusstseinsqualität zu verstehen haben, in der als solcher nicht das geringste von dem enthalten ist, was durch die Verarbeitung zahlreicher Empfindungscomplexe zu Vorstellungen schließlich aus ihr hervorgeht. Bei der Empfindung, die durch einen Druck auf die Haut, durch die Bewegung eines Tastorgans oder durch die Kraftleistung gewisser Muskeln hervorgebracht wird, bleibt, nach den oben (Bd. 1, S. 350 ff.) aufgestellten Principien der psychologischen Analyse und Abstraction, so lange es sich um die Auffassung der bloßen Qualität der Empfindung handelt, sowohl die Beziehung auf die Organe, in denen die Empfindung durch äußere oder innere Reize entsteht, wie die Beschaffenheit dieser Reize selbst völlig außer Betracht. Gerade bei den Haut- und Gemeinempfindungen wird dieser Gesichtspunkt deshalb leichter übersehen als anderwärts, weil in diesem Fall die Namen, die wir den einzelnen Empfindungsqualitäten beilegen, verhältnissmäßig neue Schöpfungen sind, die noch deutlich die Spuren ihres Ursprungs erkennen lassen, so dass man nun verführt wird, die Bedeutung des Namens auf die Sache selbst zu übertragen. Man gesteht daher wohl im allgemeinen zu, dass bei den Empfindungen Blau, Roth, Gelb weder an das empfindende Auge oder dessen Netzhaut noch an irgend einen bestimmten rothen, blauen oder gelben Gegenstand gedacht werden müsse. Aber wenn von Gelenk- oder Muskelempfindungen die Rede ist, so verbindet sich damit leicht die Meinung, dass sie an und für sich in die Gelenke oder Muskeln verlegt werden; oder bei Kraft-, Druck-, Bewegungsempfindungen ist man geneigt, sofort an die Vorstellung oder den Begriff der Kraft, des drückenden Gewichtes u. s. w. zu denken. Dieser Vermengung gegenüber, die namentlich in der Lehre von den sogenannten Bewegungs- und Muskelempfindungen viel Verwirrung angerichtet hat, sei ein für allemal bemerkt, dass wir hier, ebenso wie bei allen anderen Sinnen, die Empfindungen nicht anders bezeichnen können, als indem wir entweder die Organe namhaft machen, deren Function nachweislich zu ihrer Entstehung erforderlich ist, oder indem wir auf die äußeren Bedingungen hinweisen, unter denen sie auftreten. In diesem Sinne reden wir von Gelenkempfindungen, Muskelempfindungen oder von Druckempfindungen, Kraftempfindungen u. s. w., lediglich um anzudeuten, dass diejenigen Empfindungen gemeint sind, die in den Gelenken, in den Muskeln oder beim Druck von Gewichten, bei der Kraftleistung der

Druck-, Temperaturempfindungen, verbinden, aber er kann auch, namentlich im Gebiet des Tast- und Gemeinsinns, für sich allein auftreten. Wahrscheinlich hat der übertragene Gebrauch des Wortes »Schmerz« für Unlustgefühle jeder Art bei der Annahme, dass er als sinnliche Empfindung keine selbständige Empfindungsqualität sei, einigermaßen mitgewirkt.

Muskeln entstehen. Aber es soll damit nicht entfernt gesagt sein, dass der Empfindungsqualität an und für sich schon eine Ortsbeziehung auf Gelenke und Muskeln oder gar die Vorstellung einer Kraft- oder Gewichtsgröße innewohne. Wie solche Verbindungen und Beziehungen, die in unseren wirklichen Vorstellungen freilich niemals fehlen, entstehen, dies nachzuweisen wird erst die Aufgabe einer Analyse der Vorstellungsbildung sein können.

b. Aeußere Tastempfindungen.

Wir unterscheiden drei Arten äußerer Tastempfindungen: die Druck-, die Temperatur- und die Schmerzempfindungen. Zuweilen hat man außer den Druck- und Temperaturempfindungen noch eine »Berührungsempfindung« unterschieden und vorzugsweise in ihr die specifische Function des Tastorgans gesehen[1]. Für ihre Trennung von den Druckempfindungen lassen sich aber keine zureichenden Gründe geltend machen. Eher ließen sich die Kitzelempfindungen als eine specifische Form auffassen. Doch beruht ihre Eigenthümlichkeit wohl theils auf der räumlichen Ausbreitung schwacher, flächenhafter Druckreize, theils auf den Mitempfindungen und Mitbewegungen, die sich mit solchen Berührungsempfindungen associiren können. Sie lassen sich daher am besten einer Gruppe complexer Gemeinempfindungen zurechnen, die zugleich Hautempfindungen als constituirende Bestandtheile enthalten.

Die Druckempfindungen, die durch die einzelnen, räumlich gesonderten Theile der Hautoberfläche vermittelt werden, sind zwar in ihrer qualitativen Beschaffenheit einander ähnlich, aber sie gleichen sich keineswegs vollständig. Wenn wir z. B. auf die Rücken- und die Hohlfläche der Hand zwei einander objectiv völlig gleichende Druckreize einwirken lassen, so bemerken wir, auch abgesehen von der Beziehung der Eindrücke auf verschiedene Stellen der Haut, deutlich eine qualitative Verschiedenheit. Wir associiren aber allerdings dieselbe so fest mit der örtlichen Unterscheidung, dass es besonderer Aufmerksamkeit bedarf, um sie zu bemerken. Diese locale Färbung der Druckempfindung stuft sich, wie es scheint, stetig ab von einem Punkte zum andern, indem sie an den im Tasten vorzugsweise geübten nervenreichsten Theilen, wie an den Fingern oder Lippen, schneller sich verändert, an den minder geübten und nervenärmeren, wie Schenkeln oder Rücken, über größere Flächen annähernd constant bleibt.

---

[1] Meissner, Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Haut. 1853, und Zeitschrift für rat. Medicin. N. F. Bd. 4, S. 260. Richet, Recherches expérimentales et cliniques sur la sensibilité. 1877, p. 205, 216.

Lässt man ferner auf ein und dasselbe Hautgebiet von constanter Empfindungsbeschaffenheit verschiedenartige Körper als Druckreize einwirken, so bemerkt man, auch wenn Begrenzung, Größe und Gewicht sowie die Temperatur der Objecte möglichst einander gleichen, dennoch je nach der Beschaffenheit ihrer Oberfläche qualitativ verschiedene Empfindungen. So unterscheiden wir namentlich glatte und rauhe, spitze und stumpfe, harte und weiche Eindrücke, wobei zwischen den durch diese Wörter bezeichneten Gegensätzen alle möglichen Uebergänge stattfinden können. Nicht minder erzeugt der Druck flüssiger Körper eine eigenthümliche Tastempfindung, die mit der Beschaffenheit der Flüssigkeit und namentlich je nach dem die Haut durch sie benetzbar ist oder nicht variirt. Ebenso charakteristisch ist die Empfindung, die der Widerstand der bewegten Luft hervorbringt, und wesentlich anders gestalten sich hier wieder der Effect eines Windstoßes, die Erschütterung durch starke Schallvibrationen und die leise Druckempfindung, die bei der Bewegung im Finstern durch die Reflexion der Luft an festen Gegenständen, denen wir uns nähern, entsteht. Druckempfindungen der letzteren Art verrathen meist dem Blinden die Hindernisse, die sich ihm in den Weg stellen. Charakteristisch verschieden von allen Arten positiver Druckwirkung ist endlich die Empfindung, die entsteht, wenn wir eine Hautstelle einem negativen Druck aussetzen, indem wir sie in Berührung mit einem luftverdünnten Raume bringen. In allen diesen Fällen ist aber das Zustandekommen einer Empfindung daran gebunden, dass der Druckreiz auf eine bestimmte Hautstelle beschränkt ist. Den Druck der Atmosphäre, der gleichförmig auf unsere ganze Körperoberfläche einwirkt, empfinden wir nicht; selbst einen Druck, dem ein einzelnes Glied unseres Körpers ausgesetzt wird, empfinden wir vorzugsweise an der Stelle, wo die comprimirte und die druckfreie Hautregion an einander grenzen. Bedient man sich zu diesem Versuch des Drucks von Flüssigkeiten, indem man z. B. einen Finger oder die Hand in ein Gefäß mit Quecksilber taucht, das eine der Hautwärme gleiche Temperatur hat, so kann übrigens die auffallend stärkere Druckempfindung an der Begrenzungsstelle zum Theil auch durch die elastische Spannung der Flüssigkeit an ihrer Oberfläche bedingt sein, die gerade an dieser Stelle eine Deformation der Haut hervorbringt[1].

Vergleicht man nun die oben unterschiedenen Druckempfindungen des Spitzen und Stumpfen, Weichen und Harten u. s. w. sowie der mannigfachen Widerstandsformen flüssiger und gasförmiger Körper, so erkennt man unschwer, dass sie, soweit es sich nicht um Intensitäts- und um die

---

[1] Meissner, Zeitschrift für rat. Medicin. 3. R. Bd. 7, S. 92. Kiesow, Arch. ital. de biol. vol. 26, 1897, p. 417.

oben erwähnten localen Unterschiede handelt, hauptsächlich auf der verschiedenen räumlichen und zeitlichen Vertheilung einfacher Empfindungen beruhen, die selbst ihrer reinen Qualität nach wesentlich übereinstimmen. So beruht z. B. der Gegensatz einer glatten und einer rauhen Fläche offenbar auf der dort vollkommen stetigen, hier discontinuirlichen Ausbreitung des Eindrucks; ebenso der des Harten vom Weichen auf der verschiedenen Intensität und auf dem abweichenden zeitlichen Verlauf der Empfindungen. Eine wesentliche Eigenthümlichkeit der Druckempfindungen dürfte demnach darin bestehen, dass sie uns in der Regel als räumliche und zeitliche Complexe einfacher Druckqualitäten gegeben sind, und dass gewisse dieser Complexe constante Verbindungen mit einander eingehen, die ihnen für unser Bewusstsein nahezu den Charakter untheilbarer und darum scheinbar einfacher Eindrücke verleihen.

Mit den Druckempfindungen verbinden sich Temperaturempfindungen, sobald sich die Temperatur der mit dem Tastorgan in Berührung kommenden Körper über oder unter einem physiologischen Indifferenzpunkt befindet, der durch die Adaptation an die relativ constante Eigenwärme der Haut bestimmt ist. Die Abweichungen von diesem Punkte nach oben erzeugen Wärme-, die nach unten Kälteempfindungen. Jede von ihnen ist wahrscheinlich wiederum nur intensiver Veränderungen fähig, doch können sie sich theils mit Druck- theils mit Schmerzempfindungen verbinden. Ausdrücke wie warm, brennend, heiß oder kühl, kalt, eisig, beruhen wohl nicht bloß auf Intensitätsunterschieden, sondern auch auf solchen Complicationen von Temperatur- und Schmerzempfindungen oder selbst verschiedener Temperaturempfindungen mit einander. Auch Wärme und Kälte empfinden wir übrigens, ähnlich wie den Druck, nur, wenn der Reiz auf eine mehr oder weniger beschränkte Stelle der Haut einwirkt. Ein die ganze Haut gleichförmig treffender Temperaturreiz, wie z. B. beim Sprung in ein kaltes oder warmes Bad, wird dagegen in der Regel nur vorübergehend, bis die oben erwähnte Anpassung der Haut eingetreten ist, als Wärme oder Kälte empfunden. Der durch die Eigenwärme bestimmte Null- oder Indifferenzpunkt des Temperatursinnes ist demnach keine unveränderliche Größe, sondern die Haut adaptirt sich allmählich der Außentemperatur, so dass jener Punkt in der Kälte sinkt und in der Wärme steigt. Darum wird aber auch nicht, wie man nach Analogie mit anderen Sinneserregungen erwarten könnte, das Ansteigen und Sinken der Hauttemperatur, sondern es wird lediglich die vorübergehende oder auch dauerndere Abweichung einer Hautstelle von der Temperatur der Adaptation empfunden. Wenn man z. B. eine abgekühlte Metallplatte kurze Zeit auf die Stirn legt und dann wieder hinwegnimmt, so dauert die Kälteempfindung noch während einiger Zeit fort, obgleich

nun die Eigenwärme der abgekühlten Stelle ansteigt, nicht sinkt[1]. Dabei ist jedoch die Empfindlichkeit des Temperatursinnes zugleich in dem Sinne veränderlich, dass sie ihr Maximum bei Temperaturschwankungen hat, die dem Indifferenzpunkt nahe liegen. So fand FECHNER an der Fingerhaut die feinste Unterschiedsempfindlichkeit bei 12—25° C., wo dieselbe fast den Angaben eines feinen Quecksilberthermometers nahe kam[2]. Andere Beobachter fanden höhere Temperaturgrenzen: so LINDEMANN 26—39° C., NOTHNAGEL damit ziemlich übereinstimmend 27—33° C., und ALSBERG sogar 35—39° C.[3]. Uebrigens ist die Empfindlichkeit offenbar auch von der Körperstelle, z. B. von dem Schutz durch die Kleidung, von der Dicke der Epidermis abhängig. Ferner fand E. H. WEBER, dass sowohl die Wärme- wie die Kälteempfindung bis zu einer gewissen Grenze mit der Größe der empfindenden Fläche zunimmt, und dass Temperatur- und Druckempfindung insofern in einer Wechselbeziehung stehen, als kalte Körper vom gleichen Gewicht schwerer zu sein scheinen als warme[4].

Neben den Druck- und Temperaturempfindungen vermittelt endlich die äußere Haut noch Schmerzempfindungen, die sich entweder, wie oben bemerkt, mit intensiveren Temperatur-, seltener mit Druckempfindungen verbinden, oder aber für sich allein auftreten können. Auch die Schmerzempfindungen zeigen an den verschiedensten Hautstellen keine oder nur geringe Qualitäts-, und im Vergleich mit den Druck- und Temperaturempfindungen relativ geringe Intensitätsunterschiede. Denn unter allen Empfindungen zeichnen sich die des Schmerzes durch die Eigenschaft aus, dass sie im allgemeinen erst bei stärkeren Reizen entstehen, dann aber auch sofort mit hohen Intensitäten einsetzen. Eine weitere Eigenthümlichkeit ist ferner die lange Latenzzeit der Reizung, der auf der andern Seite eine längere Nachdauer der Erregung gegenübersteht. Während nämlich mechanische Druckreize bei Intervallen von $^1/_{50}$ bis $^1/_{70}$ Sec. und den mechanischen Reizen ähnlich wirkende schwache elektrische Stromstöße bei solchen von $^1/_{80}$ Sec. nach den Versuchen von BLOCH noch eben als getrennte empfunden werden können[5], lehrt

---

[1] HERING, Grundzüge einer Theorie des Temperatursinns. Sitzungsber. der Wiener Akad. 3. Abth. Bd. 75, 1877, S. 8 ff.

[2] Die kleinsten von FECHNER (Psychophysik, Bd. 1, S. 203) gefundenen Unterschiede betragen $^1/_{10}$° R. E. H. WEBER (Tastsinn u. Gemeingefühl, S. 554) gibt $^1/_5$—$^1/_6$° R. an.

[3] LINDEMANN, De sensu caloris. Dissert. Halis. 1857. NOTHNAGEL, Deutsches Archiv für klin. Medicin, Bd. 2, S. 284. ALSBERG, Ueber Raum- und Temperatursinn. Dissert. Marburg. 1863. DESSOIR, Archiv für Physiologie, 1892, S. 298.

[4] E. H. WEBER, a. a. O. S. 551 ff.

[5] BLOCH, Travaux du laboratoire de M. CHERCY, t. 3, 1877, p. 123. t. 4, 1879, p. 259. Vgl. auch die Bd. 1, S. 366 erwähnten Versuche von MACH. Sehr viel kleinere Werthe als alle andern Beobachter fand SERGI, an den Fingern bis zu 1000 in der Sec. (Zeitschrift für Psychologie, Bd. 3, 1892, S. 175). Es ist aber zu bedenken, dass bei der von ihm benutzten Methode (mechanische Einwirkung der Schwingungen einer Stimmgabel,

schon bei den Temperatur-, aber noch viel mehr bei den Schmerzreizen die unmittelbare Beobachtung, dass hier die Empfindungen nur langsam und allmählich abklingen. Da in Folge dessen der Zeitpunkt des Verschwindens der Empfindung, der zugleich auch mit der Intensität derselben beträchtlich variirt, kaum mit Sicherheit festzustellen ist, so sind messende Versuche in diesen Fällen noch nicht ausgeführt. Bei den Schmerzempfindungen hat übrigens dieses langsame Abklingen und die lange Dauer der Latenz zu der Vermuthung geführt, die Schmerzreize würden zu den Nervencentren auf ganz anderen Bahnen geleitet als die Druck- und Temperaturreize, indem jene nicht, wie diese, in den weißen Markfasern, sondern in der grauen Substanz zum Gehirn gelangten. Hieraus erklärt man zugleich die häufig diffuse Beschaffenheit des Schmerzes und die Mitempfindungen bei demselben[1]. Ein sicherer Nachweis für diese Vermuthung ist freilich ebenso wenig wie für die meist mit ihr verbundene Annahme specifischer Schmerznerven erbracht. Auch würde sich die Thatsache, dass ein starker Reiz an einer Hautstelle im ersten Moment als bloßer Druck empfunden wird, sehr wohl daraus ableiten lassen, dass die in das Rückenmark eingetretenen sensibeln Nervenfasern theils eine durch verhältnissmäßig wenige centrale Elemente unterbrochene, annähernd isolirte Bahn durch die weißen Markstränge einschlagen, theils aber durch Collateralen mit dem vielverzweigten Fibrillennetz der grauen Substanz in Verbindung stehen, so dass nun die erste dieser Leitungen die Druckempfindung, die zweite, die überhaupt erst bei intensiven Reizen in Anspruch genommen wird, die ihr nachfolgende und sie verhältnissmäßig lang überdauernde Schmerzempfindung vermitteln kann[2].

c. Druck-, Temperatur- und Schmerzpunkte der Haut.

Die geschilderten Erscheinungen, die sich bei den gewöhnlichen, mehr oder minder diffusen und gemischten Erregungen des Tastorgans durch äußere Reize darbieten, differenziren sich nun in einer für die vier Reizformen charakteristischen Weise, wenn man jeden Reiz möglichst isolirt und räumlich begrenzt, also z. B. einen Temperaturreiz ohne Beimengung von Druck oder Schmerz an einer punktförmigen Stelle der Haut einwirken lässt. Hierbei zeigt es sich nämlich, dass es bestimmte Maximalpunkte der Reizbarkeit für jede der vier Reizformen gibt, die durch minder erregbare

---

leicht durch die Deformation der Haut Intermissionen der Eindrücke zwischen größeren Gruppen von Schwingungen entstehen können.

[1] Schiff, Physiologie, Bd. 1, S. 251 ff. Pflügers Archiv, Bd. 29, S. 537 ff. Bd. 30, S. 199 ff. Goldscheider, Gesammelte Abhandlungen, Bd. 1, S. 391 ff.

[2] Vgl. die nähere Erörterung dieser Frage in der 4. Aufl. dieses Werkes, Bd. 1, S. 109 ff., und dazu rücksichtlich der anatomischen Verhältnisse oben Bd. 1, S. 159 ff.

Strecken geschieden sind. Man nennt diese Punkte die Druck-, Kälte-, Wärme- und Schmerzpunkte. Unter ihnen sind die Druckpunkte mittelst der Reizhaare (Fig. 156, Bd. 1, S. 534) leicht nachzuweisen. Tastet man mit einem solchen verschiedene Punkte einer Hautstelle ab, so verrathen sich diese Punkte sofort durch die feinere und örtlich scharf begrenzte Berührungsempfindung. Auch die Schmerzpunkte sind mit etwas steiferen Reizhaaren oder mit einer feinen Nadelspitze leicht aufzufinden. Sie verrathen sich dadurch, dass schon ein ganz oberflächlicher Einstich in die Epidermis Schmerz erregt, während die benachbarten Stellen auf den gleichen Reiz unempfindlich sind, oder erst bei tieferem Eindringen der Nadel in das subepitheliale Gewebe Schmerz vermitteln. Die Kältepunkte treten hervor, wenn man mit einer abgestumpften und abgekühlten Metallspitze über die Haut hingleitet. Dann tritt wiederum an einzelnen scharf umgrenzten Punkten blitzartig die Kälteempfindung auf. Am schwierigsten sind die Wärmepunkte aufzufinden. Dies rührt theils davon her, dass der Reiz, z. B. eine erwärmte Metallspitze, länger einwirken muss, theils auch davon, dass die Punkte offenbar weit ermüdbarer sind, indem sehr häufig ein Punkt, der noch eben deutlich mit Wärme reagirt hat, bei Wiederholung der Reizung versagt. Auch ist die Empfindung wie die Reizbarkeit der Wärmepunkte eine etwas diffusere: die Stellen der maximalen Reizbarkeit erscheinen weniger als Punkte denn als kleine Kreise. Neben den Kälte- und Wärmepunkten treten übrigens noch Kälte und Wärmefelder von einer gewissen Ausdehnung auf, deren Erregbarkeit nicht so groß wie die der Punkte, immerhin aber größer als die der sonstigen Hautstellen ist. Die Lage aller dieser charakteristischen Reizpunkte ist nun innerhalb eines bestimmten Hautgebiets eine ganz constante: die Punkte, die man einmal aufgefunden und etwa durch Farbe kenntlich gemacht hat, lassen sich Tage und Wochen später wieder in derselben Vertheilung constatiren. Dagegen ist ihre relative Dichtigkeit an den einzelnen Hautstellen eine sehr verschiedene, und sie steht sichtlich mit den specifischen Tastfunctionen im engsten Zusammenhang. Dies erhellt besonders aus der Vertheilung der Druckpunkte, die an den Fingerspitzen dicht gedrängt stehen, dann auch noch über die Hohlhandfläche und den Handballen bis zur Handwurzel zahlreich vorkommen, dagegen am Handrücken und noch mehr am Vorder- und Oberarm sowie an andern wenig zum Tasten benutzten Theilen sehr spärlich werden. Ungefähr umgekehrt verhalten sich, wenn auch nicht im gleichen Verhältniss, die Temperaturpunkte, die gerade da, wo die Druckpunkte am dichtesten sind, sparsamer und dagegen an den weniger druckempfindlichen Körperflächen reichlicher vorkommen; zugleich ist bei ihnen, von wenigen Ausnahmen abgesehen, die Lagerung der Kältepunkte eine dichtere als die

der Wärmepunkte. Annähernd gleichförmig verbreiten sich endlich die Schmerzpunkte, zugleich aber derart, dass Druck- und Schmerzpunkte einander ausschließen und daher Tastflächen mit sehr vielen Druckpunkten die Schmerzpunkte etwas zurücktreten lassen. Die Fig. 157 gibt einige Beispiele, die diese Verhältnisse erkennen lassen[1]. Unter ihnen veranschaulichen *A*—*D* die Unterschiede zwischen Volar- und Dorsalfläche am Vorderarm und zwischen den der Hand näheren und den von ihr entfernteren Empfindungsflächen. Die Volarfläche zeichnet sich durch das Uebergewicht der Kälte- über die Wärmepunkte aus, während auf der Dorsalfläche beide mehr gleichförmig vertheilt sind; auch kommen fast

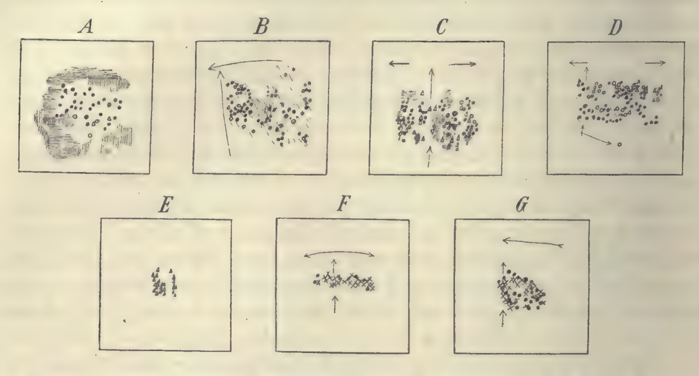


Fig. 157. Reizpunkte: • • • Kältepunkte, ○ ○ ○ Wärmepunkte, △ △ △ Druckpunkte, + + + Schmerzpunkte. ☰ Kältefelder, | Wärmefelder. *A*, *C* Volarfläche, *B*, *D* Dorsalfläche des linken Unterarms, nahe der Handwurzel. ← Handwurzelfurche, ↑ Medianlinie. *E* Druckpunkte einer kleinen Stelle in der Mitte des Handballens der linken Hand. *F*, *G* Schmerz- und Kältepunkte einer ebensolchen Stelle an der Volar- und Dorsalseite der Handwurzel (←, ↑ wie oben).

nur an der ersteren Kälte- und Wärmefelder vor. Die Vergleichung von *A* und *C* zeigt ferner die Vermehrung der Druckpunkte mit der Annäherung an die Hand. Die starke Zunahme der letzteren an den eigentlichen Taststellen zeigt Fig. 157 *E*. Die überall sehr dichte Lagerung der Schmerzpunkte, die in den übrigen Feldern hinweggeblieben sind, ist endlich aus *F* und *G* zu ersehen.

Wie durch »adäquate«, das heißt durch die in Folge der Lebensbedingungen normaler Weise die Empfindungen erzeugenden Reize, so können

[1] Fig. 157 nach Versuchen, die Herr PAUL BADER im psychologischen Institut zu Leipzig ausführte. Auch die unten mitgetheilten Ergebnisse über die Reizbarkeitsverhältnisse der verschiedenen Reizpunkte stützen sich zum Theil auf diese Untersuchung.

nun auch durch die früher (Bd. 1, S. 362) erwähnten allgemeinen Nervenreize die Druck- und Temperaturempfindungen entstehen, wobei freilich zu bedenken ist, dass für die Druckpunkte der mechanische Druck zugleich adäquater Reiz ist, während für die Schmerzpunkte wohl überhaupt die sämmtlichen allgemeinen Nervenreize als »adäquate« angesehen werden können. So bleibt, nach Ausscheidung der letzteren Punkte, wesentlich nur der elektrische Strom, namentlich in der Form der faradischen Reizung, als der für die drei specifischen Druck-, Kälte-, Wärmepunkte gemeinsame »nicht-adäquate« Reiz übrig. Er wirkt in der That auf alle drei Punkte erregend, am wenigsten auf die Wärmepunkte. Die Empfindungen, die er erzeugt, sind aber qualitativ etwas abweichend von den Wirkungen der gewöhnlichen Reize, insofern sie von einem eigenthümlichen Schwirren begleitet sind, das offenbar von den rasch einander folgenden Stromstößen herrührt. Die Kälte- und Wärmepunkte sind ferner auch durch mechanische Reize erregbar: doch gilt das wieder hauptsächlich für die Kältepunkte, während die Wärmepunkte hier noch weit unsicherer ansprechen als auf den elektrischen Strom, wie sie denn besonders für inadäquate Reize rasch ermüden. Bei den Temperatur-, und besonders bei den Kältepunkten kommen endlich zu diesen Wirkungen der allgemeinen Nervenreize noch zwei weitere Erscheinungen, welche die Auffassung derselben als streng von einander zu sondernder specifischer Reizpunkte überhaupt fragwürdig machen. Prüft man nämlich einen Punkt, der sich auf dem gewöhnlich eingeschlagenen Weg als ein empfindlicher Kältepunkt herausgestellt hat, mit Temperaturreizen, die allmählich zu höheren und höchsten Temperaturen übergehen, so stellt sich folgendes heraus: nachdem die Empfindung die Stadien eisig, kalt und kühl durchlaufen hat, kommt zunächst ein solches, bei dem sie warm oder auch unbestimmt ist, also zwischen beiden Gegensätzen in der Mitte liegt. Dann aber geht sie bei noch weiterer Steigerung der Temperatur wieder in eine deutliche Kälteempfindung über. Diese bei 40° C. oder schon etwas vorher eintretende Kälteempfindung durch Wärme wird schließlich bei den höchsten Temperaturen von 70° C. und darüber durch eine Schmerzempfindung abgelöst, welche die Temperaturcomponente gänzlich verdecken kann. Zur Unterscheidung von den gewöhnlichen Empfindungen der Kältepunkte kann man die durch schwächere Wärmereize entstehende Wärmeempfindung derselben als conträre, die durch starke Wärmereize ausgelöste Kälteempfindung mit VON FREY als paradoxe Empfindung bezeichnen[1]. Ein Analogon zu dieser paradoxen

[1] KIESOW, Philos. Stud. Bd. 11, 1895, S. 145. (Conträre Warmempfindungen.) M. VON FREY, Sitzungsber. der sächs. Ges. der Wiss. 1895, S. 172. (Paradoxe Kälteempfindung.)

Kälteempfindung, eine Wärmeempfindung durch Kälte, ist an den Wärmepunkten nicht nachzuweisen; wohl aber die conträre Empfindung, indem in einzelnen Fällen bei Reizung mit Temperaturen unter dem Nullpunkt (—5 bis —13°) eine Kälteempfindung auftritt, die deutlich an den Wärmepunkt selbst gebunden, nicht etwa durch Verbreitung der Temperatur auf benachbarte Kältepunkte verursacht ist. Doch sind die conträren Empfindungen überhaupt minder intensiv als die adäquaten: sie überschreiten an den Kältepunkten nie das Gebiet der Warm-, bei den Wärmepunkten das der Kühlempfindung. Immerhin erhellt aus diesen Erscheinungen, dass ebensowohl die Wärmepunkte unter geeigneten Bedingungen mit kalt, wie die Kältepunkte mit warm reagiren können, während die Kältepunkte allein außerdem noch auf bestimmte höhere Temperaturen jenseits dieser, ihrer gewöhnlichen Qualität widerstreitenden Wärmeempfindungen wieder mit Kälteempfindungen antworten. Daraus ist zu schließen, dass zwar der Begriff des Temperaturpunktes, nicht aber eigentlich der des Kälte- und des Wärmepunktes eine feste, derjenigen der Druck- und der Schmerzpunkte analoge Bedeutung hat. Vielmehr kann wahrscheinlich jeder Temperaturpunkt sowohl Kälte- wie Wärmeempfindung vermitteln. Bei Temperaturunterschieden, die nur wenig von der Eigenwärme der Haut abweichen, sind jedoch gewisse Punkte für Kälte-, andere für Wärmeempfindungen adaptirt; und außerdem sind offenbar die Kältepunkte diejenigen Reizpunkte, die am schnellsten und sichersten auf irgend welche Temperaturreize reagiren, und die bei stärkeren Reizen jeder Art Kälteempfindungen erregen.

Alle diese Verhältnisse weisen darauf hin, dass an bestimmten Punkten entweder die Hautnerven selbst oder bestimmte Endorgane, aus denen sie entspringen, eine für die Einwirkung specifischer Reize besonders günstige Lage besitzen. Bei den Druckpunkten liegt in der That eine solche Beziehung so nahe, dass in dieser Hinsicht kaum ein Zweifel obwalten kann. Druckpunkte sind in erster Linie die Stellen der Tastkörper: in Verbreitung und Dichtigkeit der Anordnung gehen beide einander vollkommen parallel (Bd. 1, S. 399). An den behaarten Stellen des Körpers treten dann, wie früher erwähnt, die Nervengeflechte der Haare an ihre Stelle (Bd. 1, S. 396). Wie übrigens in diesen ein dichtes Fibrillennetz ohne sonst nachweisbares specifisches Endorgan eine dem Tastkörper äquivalente Einrichtung darstellt, so ist nicht zu vergessen, dass auch die nach ihrer Lage den Tastkörpern entsprechenden Druckpunkte nur Maxima der Druckempfindlichkeit bezeichnen, und dass an Stellen, die unbehaart sind, und an denen die nachweisbaren Druckpunkte weit von einander entfernt liegen, wie an der Dorsalfläche von Hand und Fuß, an manchen Stellen des Rumpfes,

überall auch an den zwischenliegenden Punkten eine diffuse Druckempfindlichkeit existirt, die man wohl auf das Fibrillennetz in den oberflächlichen Schichten der Epidermis zurückbeziehen muss (Fig. 122, Bd. 1, S. 395). Als den Tastkörpern verwandte Gebilde, die aber eine etwas eigenartige Qualität von Druckempfindungen vermitteln, sind endlich die KRAUSE'schen Endkolben zu betrachten: sie finden sich an Körperstellen, die, wie die Conjunctiva des Auges, die Glans penis, jener distincten Druckempfindlichkeit bei der Berührung, welche die eigentlichen Druckpunkte auszeichnet, entbehren, statt dessen aber auf leichte streichende Berührungsreize lebhaft mit Kitzelempfindungen reagiren. So bestätigen die physiologischen Thatsachen durchaus die durch die anatomischen Verhältnisse nahe gelegte Vermuthung, dass die druckpercipirenden Elemente des Tastorgans die Endfibrillen selbst, und dass die besonderen Anhangsgebilde der Tastnerven, Tastkörper, Haargeflechte und Endkolben, nur Veranstaltungen sind, welche die Einwirkung der Druckreize, und namentlich gewisser Formen derselben erleichtern. (Vgl. oben Bd. 1, S. 399 ff.)

Wie die Druckpunkte, so lassen die Schmerzpunkte ohne Schwierigkeit eine anatomische Interpretation zu. Ihre dicht gedrängt oberflächliche Lage weist unmittelbar auf das Fibrillennetz zwischen den Epidermiszellen hin. Auch steht die Annahme, dass diese Fibrillen Schmerzempfindungen vermitteln, mit der anderen, dass sie zugleich die Substrate der überall anzutreffenden diffusen Druckempfindungen seien, nicht im Widerspruch, da ja die Reizeinwirkungen hier wie dort wesentlich andere sind. Die Druckempfindung entsteht in Folge von Deformationen der Haut: über den Tastkörpern können aber räumlich äußerst beschränkte, punktförmige Deformationen diese Empfindung auslösen, da die Tastkörper selbst in der Tiefe liegen, während über ihnen das epidermoidale Fibrillennetz größere Maschen bildet, sodass Druck- und Schmerzpunkte niemals zusammenfallen. An Stellen, die Schmerz-, aber keine Druckpunkte führen, ist dagegen stets eine doppelte Art der Reizung möglich: eine punktuelle, stichartige, die aller Wahrscheinlichkeit nach direct eine Fibrille verletzt und so die Schmerzempfindung bewirkt; und außerdem eine ausgebreitetere, die nur die Haut deformirt und, bei relativ hoher Reizschwelle, eine diffuse Druckempfindung erzeugt. Für diese Einerleiheit sogenannter Druck- und Schmerznerven spricht noch eine weitere Thatsache: über den Druckpunkten fehlen, wie bemerkt, die Schmerzpunkte; wenn man jedoch an der Stelle eines Druckpunktes mit einer Nadel so weit in die Tiefe sticht, dass der im subepithelialen Gewebe liegende Tastkörper getroffen wird, so empfindet man Schmerz. Dieser kann aber in solchem Fall kaum anderswo entstehen als im Nervengeflecht des Tastkörpers selbst.

Weit unsicherer steht es mit der Frage nach der Bedeutung der Temperaturpunkte. Anatomische Substrate derselben sind nicht aufgefunden (vgl. Bd. 1, S. 401 ff.). Aber auch die oben erörterten physiologischen Verhältnisse lassen die Deutung dieser Punkte als specifischer Organe zweifelhaft. Da mindestens in vielen Fällen ein sogenannter Kältepunkt unter besonderen Bedingungen Wärmeempfindung, und umgekehrt ein Wärmepunkt die Empfindung des Kühlen vermittelt, so könnte man ursprünglich indifferente Temperaturorgane annehmen, die sich zwar im allgemeinen verschieden differenzirt hätten, bei denen aber gleichwohl Spuren jener einst doppelseitigen Function zurückgeblieben wären. Doch würde das andere Erscheinungen, wie die paradoxe Kälteempfindung bei starken Wärmereizen, kaum begreiflich machen. Nun wurde schon früher jener Kälteempfindungen im Fieberfrost gedacht, die durch vasomotorische Effecte ohne begleitende Temperaturreize, oder manchmal bei Temperaturänderungen von entgegengesetzter Richtung entstehen (Bd. 1, S. 402). Vergleicht man ferner die Erscheinungen, welche die Kälte- und Wärmepunkte unter verschiedenen Bedingungen darbieten, mit den Eigenschaften der gefäßverengernden und gefäßerweiternden Nerven, so zeigt der Verlauf dieser Reizungsvorgänge überraschende Beziehungen, wenn man Kältereizung und Gefäßverengerung, Wärmereizung und Gefäßerweiterung als die einander correspondirenden Processe ansieht. Die Gefäßcontraction tritt auf den geeigneten Reiz fast momentan, blitzartig ein, um verhältnissmäßig rasch wieder zu verschwinden; die Erweiterung folgt langsamer und verschwindet allmählicher. Dadurch kann es kommen, wie man an der Schwimmhaut des Frosches unter dem Mikroskop beobachtet, dass ein auf die Gefäßnerven einwirkender elektrischer oder mechanischer Reiz zunächst Contraction bewirkt, worauf dann nach einiger Zeit die Dilatation nachfolgt. Auch hier lässt es sich übrigens leicht constatiren, dass die Kälte ein besonders wirksamer Reiz für die Constrictoren, die Wärme ein ebensolcher für die Dilatatoren der Gefäße ist. Die Nerven aber, die die Gefäßmuskeln in dieser entgegengesetzten Weise innerviren, haben erwiesenermaßen einen verschiedenen Ursprung und Verlauf, so dass jedenfalls auch noch in der Peripherie des Körpers vasomotorische Nerven von entgegengesetzter Function einander gegenüberstehen.[1] Bei der Kälte- und Wärmereizung der Haut oder sonstiger gefäßhaltiger Organe sieht man daher theils durch directe Wirkung der Reize auf die Gefäßmuskeln, theils aber auch

[1] Eine Zusammenstellung der physiologischen Ermittelungen über Verlauf und Wirkungsweise der Constrictoren und Dilatatoren, deren Feststellung die Physiologie namentlich den Forschungen von Cl. Bernard, Brown Séquard, Schiff und Ludwig verdankt, gibt Tigerstedt, Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Bd. 1, 1897, S. 207 ff.

vermittelt durch die Gefäßnerven bei der Kälte Verengerungen, bei der Wärme Erweiterungen des Gefäßlumens eintreten. Insofern die Constrictoren vorzugsweise durch Kälte, die Dilatatoren durch Wärme erregbar sind, liegt also hier allerdings eine specifische Wirkung vor. Dabei bilden aber diese Formen specifischer Reizbarkeit zugleich einen Gegensatz, der durchaus dem der Temperaturempfindungen selbst entspricht. Nimmt man demnach an, die Temperaturempfindungen entstünden nicht durch die Reizung besonderer Wärme- oder Kälteorgane, sondern durch die Rückwirkungen, welche die vasomotorischen Innervationen durch Ab- oder Zunahme des Blutzuflusses zu den Nervenverzweigungen der Haut hervorbringen, so würden die beiden Temperaturerregungen als einfachste und zugleich gegensätzliche Formen chemischer Reizung zu deuten sein. Denn die Kälteerregung entspräche dann der plötzlichen Hemmung, die Wärmeerregung der Steigerung der im übrigen normal ablaufenden chemischen Nervenprocesse. Die Temperaturpunkte würden aber nach dieser Hypothese als diejenigen Stellen der Haut anzusehen sein, an denen vasomotorische Nervenfasern einer bestimmten Gattung, die Constrictoren an den Kälte-, die Dilatatoren an den Wärmepunkten, äußeren Reizen besonders leicht zugänglich sind. Die oben geschilderten Erscheinungen, insbesondere der verschiedene Verlauf der Erregung, die conträre und die paradoxe Empfindung, die mit der Annahme specifisch verschiedener Endorgane kaum zu vereinigen sind, lassen sich aus einer solchen indirecten, vasomotorisch vermittelten Reizung insofern ohne Schwierigkeit ableiten, als sie mit den wirklich zu beobachtenden Erscheinungen der vasomotorischen Innervation in allen wesentlichen Punkten übereinstimmen.

Zur Nachweisung und namentlich zur näheren Prüfung des Verhaltens der Temperaturpunkte bedient man sich am zweckmäßigsten hohler Metallcylinder mit abgestumpfter Spitze, die mit einem Thermometer versehen und von Wasser von constanter Temperatur durchströmt sind[1]. Zur Nachweisung der Druck- und der Schmerzpunkte ist, außer den Reizhaaren, besonders auch die unipolare faradische Reizung (mit Ableitung des andern Pols zur Erde) geeignet[2]. Doch ist dabei zu beachten, dass es für Druck empfindliche Flächen gibt, wie z. B. die Cornea, die Conjunctiva bulbi, die nicht durch Reizhaare, wohl aber durch leise Berührungen mit einem weichen Körper Empfindungen vermitteln[3], und dass solche Stellen der Haut, an denen zwar keine oberflächlichen Schmerzpunkte vorkommen, wo aber bei tieferem Einstechen mit der Nadel Schmerz auftritt, von den ganz analgetischen Punkten

[1] F. Kiesow, Philos. Stud. Bd. 14, 1898, S. 589. Weitere Methoden vgl. bei Alrutz, Skandin. Archiv für Physiol., Bd. 7, 1897, S. 323, und Thunberg, ebend. Bd. 11, 1901, S. 385 ff.

[2] M. von Frey, Ber. der Ges. der Wiss. zu Leipzig. Math.-phys. Cl. 1894, S. 290.

[3] Nagel, Pflügers Archiv, Bd. 59, 1895, S. 563 ff.

wohl zu unterscheiden sind. Die letzteren nehmen auf der Haut selbst nur sehr kleine Strecken ein. Eine größere analgetische Fläche findet sich aber, wie F. KIESOW[1] nachwies, in der Wangenschleimhaut. Die letztere Stelle zeigt gleichwohl Druck- und Temperaturempfindungen. Dabei sind jedoch die Druckempfindungen, wie mir scheint, durch die Fortpflanzung des Drucks dieser bekanntlich sehr deformirbaren Stelle auf die äußere Wangenhaut verursacht.

BLIX und GOLDSCHEIDER, die zuerst die Druck-, Temperatur- und Schmerzpunkte der Haut beschrieben[2], haben auch bereits die Verbreitung dieser Punkte über die verschiedenen Stellen des Tastorgans ermittelt, und in den wesentlichsten Beziehungen sind diese Ergebnisse durch die späteren Beobachter bestätigt worden. Danach ist der Wärmesinn überall intensiv und extensiv geringer entwickelt als der Kältesinn; beide werden wieder übertroffen durch den Schmerzsinn, dessen Punkte überall ziemlich gleich dicht gelagert sind, und an den specifischen Tastorganen durch den Drucksinn. Die Vertheilung der drei Arten von Punkten ist im allgemeinen eine radienförmig der Ausstrahlung der Nervenzweige folgende. Sehr häufig sind die Haarwurzeln die Mittelpunkte der Radien. Die Temperaturempfindlichkeit ist ferner an Augenlid, Stirn, Wange, Kinn am größten, kleiner an Brust, Bauch, Arm, Hand, am kleinsten am Unterschenkel und Fuß; und durchweg ist die Temperaturempfindlichkeit an der Eintrittsstelle eines sensiblen Nerven größer als in der Peripherie seines Verbreitungsbezirks. Hieraus folgt, dass im allgemeinen der Temperatursinn der Extremitäten zunimmt mit der Annäherung an den Rumpf, im Gegensatz zu dem Drucksinn, dessen Punkte an den durch feineren Ortssinn ausgezeichneten Stellen, wie an den Finger- und Zehenspitzen, am dichtesten angeordnet sind. Schwache mechanische und elektrische Reize bringen endlich nicht bloß an den Temperatur- oder Druckpunkten selbst die specifischen Empfindungen hervor, sondern es kann auch bei schwacher Reizung der Nervenstämme, wie des Nervus ulnaris, der Handnerven, eine periphere Ausstrahlung von Temperatur-, namentlich Kälteempfindungen, und von Druckempfindungen beobachtet werden. In der Beschränkung der erhöhten Empfindlichkeit für Druckreize auf annähernd punktuelle Hautstrecken hat wohl die eigenthümliche Empfindung des »körnigen«, die GOLDSCHEIDER bei den Druckpunkten hervorhebt, ihren Grund. Es dürfte das aber kaum zureichen, ihnen deshalb mit diesem Beobachter eine specifische Qualität zuzuschreiben. Alles spricht vielmehr dafür, dass die sogenannten Druckpunkte lediglich solche Stellen sind, an denen durch besondere Hülfsapparate den Tastnerven ein höherer Grad von Druckempfindlichkeit verliehen wird. Die Kenntniss des Verhaltens der verschiedenen Reizpunkte gegen qualitativ und intensiv abweichende Reize ist weiterhin namentlich durch die Arbeiten von M. VON FREY[3] und KIESOW[4], die der Temperaturpunkte durch die von

---

[1] KIESOW, Philos. Stud. Bd. 14, S. 567.

[2] A. GOLDSCHEIDER, Archiv für Physiologie, 1885, S. 86 f. Suppl. S. 1, 189, 473 ff. (Ges. Abhandl. Bd. 1, 1898.) MAGNUS BLIX, Zeitschr. f. Biologie, Bd. 20, 1885, S. 141 ff. Bd. 21, S. 145 ff. (Schwedisch 1883 erschienen.)

[3] M. VON FREY, Abhandl. der sächs. Ges. der Wiss. Bd. 23, 1896, S. 175. Berichte derselben, 1894—97.

[4] KIESOW, Philos. Stud. Bd. 11, 1895, S. 135. Bd. 14, 1898, S. 567, 589. VON FREY und KIESOW, Zeitschr. f. Psychologie, Bd. 20, 1899, S. 126.

ALRUTZ[1] und THUNBERG[2] gefördert worden. VON FREY entdeckte die paradoxe Kälteempfindung und bestätigte die oberflächliche Lage der Schmerzpunkte, die schon BLIX veranlasst hatte, für diese Punkte auf die Annahme specifischer Endorgane zu verzichten. KIESOW fand sodann die conträren Temperaturempfindungen, die freilich ALRUTZ wiederum für streng punktförmige Kältereize leugnete. Anderseits wiesen aber ALRUTZ und THUNBERG nach, dass die paradoxe Wärmeempfindung keine bloß sporadisch vorkommende, sondern eine wahrscheinlich allen Kältepunkten zukommende Eigenschaft ist. Beide verfolgten außerdem die Verbindungen der Temperaturempfindungen mit Schmerzempfindungen und die bei hohen Temperaturen zu beobachtenden »Hitzeempfindungen«, die ALRUTZ als Verbindungen von Warm- und Kaltempfindungen auffasst. Auch machte derselbe darauf aufmerksam, dass bei der Reizung mit sehr niedrigen Kältegraden neben der Schmerzempfindung eine Hitzeempfindung entsteht, welche von der durch sehr hohe Wärmegrade erzeugten kaum zu unterscheiden ist. ALRUTZ und THUNBERG glauben die abweichende Reactionsweise auf Kälte- und Wärmereize aus einer tieferen Lage der Wärmepunkte erklären zu können. Aber diese Annahme würde höchstens über die längere Dauer, die zwischen Reiz und Empfindung verfließt, nicht über die anderen Unterschiede, wie die leichte Ermüdbarkeit, die geringere Erregbarkeit durch inadäquate Reize, und ebenso wenig natürlich über die conträren und paradoxen Erregungen Rechenschaft geben. Ueberhaupt lässt sich nicht verkennen, dass die Voraussetzung, jeder der vier Empfindungsqualitäten des Tastorgans müsse auch ein specifisches, räumlich streng geschiedenes Endorgan entsprechen, von Anfang an vielfach die Unbefangenheit der Untersuchungen auf diesem Gebiete getrübt hat. Es war ja im allgemeinen begreiflich, dass die Entdeckung der Reizpunkte, indem sie die Lehre von den specifischen Energien auch bei dem Hautsinnesorgan zu bestätigen schien, jene Voraussetzung unterstützte. Dadurch kam es aber, dass man nun auch dann noch die unveränderliche Empfindungsqualität der Reizpunkte wie ein unantastbares Dogma betrachtete, als die Thatsachen damit nicht mehr vereinbar waren. So hielten GOLDSCHEIDER und die meisten seiner Nachfolger strenge daran fest, dass die Endorgane selbst nur durch die adäquaten Reize erregbar seien. Wenn Kälte- und Wärmeempfindungen mechanisch oder elektrisch erregt werden, so sei dies daher auf eine Reizung der specifischen Kälte- oder Wärme*nerven* zurückzuführen[3]. Dass die Erfahrung dem direct widerstreitet, indem sie die Kälte- und Wärmepunkte selbst als die auch durch inadäquate Reize erregbaren erweist, hat THUNBERG mit Recht bemerkt[4]. Nicht minder ließ GOLDSCHEIDER die von HERING hervorgehobene Bedeutung der Eigenwärme der Haut als eines Indifferenzpunktes der Temperaturempfindungen nicht gelten, sondern kehrte wieder zu der von E. H. WEBER vertretenen, allerdings mit der Existenz fester Temperaturorgane leichter zu vereinigenden Annahme zurück, dass Steigen und Sinken der Wärme die unmittelbaren Temperaturreize seien[5]. Endlich die Erscheinungen der conträren und der paradoxen

[1] ALRUTZ, Skandin. Archiv f. Physiol., Bd. 7, 1897, S. 321. Bd. 10, 1900, S. 340.
[2] THUNBERG, ebend. Bd. 11, 1901, S. 382.
[3] GOLDSCHEIDER, Ges. Abh. Bd. 1, S. 118 ff.
[4] THUNBERG, Skandin. Archiv f. Physiol., Bd. 11, S. 429.
[5] GOLDSCHEIDER, a. a. O. S. 103.

Empfindung suchte man durchweg auf die Reizung benachbarter Punkte von entgegengesetzter Qualität zurückzuführen, obgleich dies, wie bereits M. VON FREY speciell für die paradoxe Empfindung hervorhob, in einzelnen Fällen nach der Verbreitung der wirklich nachweisbaren Reizpunkte vollkommen ausgeschlossen ist. Da übrigens die paradoxe Erregung als eine wahrscheinlich allen Kältepunkten zukommende, also normale Erscheinung angesehen werden darf, so ist darin schon ausgesprochen, dass sie an sich durchaus nicht paradox ist, sondern dass sie sich eben nur paradox ausnimmt, so lange man Voraussetzungen macht, mit denen sie nicht übereinstimmt, und die also eigentlich durch sie widerlegt werden. Auch das Streben, die einzelnen Empfindungsqualitäten auf die verschiedenen anatomischen Endigungsformen der Hautnerven zurückzuführen, hat sichtlich vielfach die Unbefangenheit der Beobachtungen und der aus ihnen gezogenen Schlüsse getrübt. So ist es zweifellos richtig, dass die Tastkörper und Haarwurzeln Stellen feinster Druckempfindlichkeit sind; aber dass die Hautpunkte, die dieser Gebilde entbehren, überhaupt keine Druckempfindlichkeit besitzen, oder dass ihre Empfindungen aus der Fortpflanzung des Drucks zu jenen Endorganen abzuleiten seien, ist mindestens eine sehr zweifelhafte Annahme[1]. Ueberdies entbehrt weder die Conjunctiva des Auges, in der Endkolben, aber keine Tastkörper, noch die Cornea, in der überhaupt nur freie Terminalnetze vorkommen, der Druckempfindlichkeit, wie dies schon WALTER[2], DONALDSON[3] und DESSOIR[4] übereinstimmend hervorhoben. Auch die Kronen der Zähne vermitteln sowohl Druck- wie Wärme- und Kälteempfindungen, und zwar unter Versuchsbedingungen, bei denen für die ersteren wahrscheinlich, für die letzteren sicher eine Betheiligung des Zahnfleisches ausgeschlossen ist, so dass hier die Zahnpulpa selbst als der empfindende Theil angesehen werden muss[5]. Wenn dagegen VON FREY[6] auf das bestimmteste sich überzeugte, dass die Cornea die ihr ebenfalls zugeschriebene Temperaturempfindlichkeit nur nahe ihren Randtheilen besitzt, wo eine Fortpflanzung der Reizung auf die Conjunctiva anzunehmen ist, so würde das mit der vasomotorischen Hypothese gut übereinstimmen, da die Cornea der Blutgefäße entbehrt. Ist die Beschränkung der Druckempfindung auf Tastkörper und Haarbälge undurchführbar, um so mehr, da ja die völlig abweichenden morphologischen Eigenschaften beider an sich schon der Annahme specifischer Endgebilde widersprechen, so sind auf der andern Seite alle Bemühungen, specifische Wärme- und Kälteorgane aufzufinden, bis jetzt vergeblich gewesen. M. VON FREY vermuthete solche in den Endkolben, da dieselben in Conjunctiva und Glans penis vorkommen, die beide eine hohe Reizbarkeit für Kälte und Wärme zeigen[7]. Da jedoch an zahlreichen andern temperaturempfindlichen Stellen sowohl der äußeren Haut wie der Schleimhäute die Endkolben fehlen, so ist diese Annahme nicht

[1] GOLDSCHEIDER, a. a. O. S. 80. VON FREY, Sitzungsber. der sächs. Ges. der Wiss. 1897, S. 466.

[2] WALTER, Ueber die Sensibilitätsverhältnisse der menschlichen Cornea. Diss. Erlangen. 1878.

[3] DONALDSON, Mind, vol. 10, 1885, p. 399.

[4] DESSOIR, Archiv für Physiologie, 1892, S. 175.

[5] J. STEINER, Physiol. Centralblatt, Bd. 15, 1902, Nr. 20.

[6] VON FREY, Leipziger Sitzungsber. 1895, S. 179.

[7] A. a. O. S. 181.

zu halten, und es hat die Annahme W. KRAUSES jedenfalls die größere Wahrscheinlichkeit für sich, dass jene Gebilde, wie sie morphologisch den Tastkörpern verwandt sind, so auch functionell zu der qualitativ eigenartigen Druckempfindlichkeit der Theile in Beziehung stehen. Nach allem dem darf man wohl vermuthen, dass es bis jetzt deshalb nicht möglich war, specifische Endorgane des Temperatursinnes aufzufinden, weil solche überhaupt nicht existiren[1].

d. Innere Tastempfindungen.

Neben den Druck- und Temperaturempfindungen sind in einem weiteren Sinne dem Gebiete des Tastsinns auch diejenigen Empfindungen zuzurechnen, die sich mit den Bewegungen der äußern Körpertheile verbinden. In der Regel wirken bei der Thätigkeit der Tastorgane diese inneren Tastempfindungen mit den bei der Berührung der Gegenstände entstehenden äußeren Druck- und Temperatureindrücken zusammen und tragen auf solche Weise wesentlich bei zu den Vorstellungen, die wir uns von der physischen Beschaffenheit der Körper bilden. Auch sie bieten qualitative Unterschiede dar, die aber nur zum geringsten Theil auf der Differenz der Empfindungsqualitäten selbst, zumeist vielmehr auf der verschiedenen räumlichen und zeitlichen Combination qualitativ wenig verschiedener, jedoch in ihrer Intensität mannigfach abgestufter Empfindungen beruhen. Wir betrachten auch hier zunächst wieder die subjectiven Eigenschaften dieser Empfindungen in ihrer Beziehung zu den allgemeinen Leistungen dieses Sinnesgebiets, um dann erst der an sich davon ganz unabhängigen Frage nach den objectiven physiologischen Substraten derselben näher zu treten.

Nun sind die äußeren Muskelbewegungen des Körpers diejenigen Functionen, deren Begleiterscheinungen die inneren Tastempfindungen regelmäßig bilden, sobald nur die Bewegungen selbst uns bewusst werden, mögen nun diese im übrigen Willenshandlungen oder aber automatische,

[1] Von verschiedenen Physiologen sind zum Zweck der differentiellen Untersuchung der Druck-, Temperatur- und Schmerzerregungen auch die Reactionszeiten, die von der Einwirkung des Reizes bis zum Vollzug einer vorher verabredeten, auf seine Apperception erfolgenden Willensbewegung verfließen, verwerthet worden. Dass dabei Schmerzreactionen am längsten, und Temperaturreactionen länger als Druckreactionen dauern, stimmt mit dem was oben (S. 7 f.) als Ergebniss unmittelbarer Beobachtung erwähnt wurde, überein. Da jedoch bei solchen Reactionsversuchen weitere, sehr complicirte Bewusstseinsbedingungen in Betracht kommen, so kann auf diese Versuche erst später, im Zusammenhang mit der allgemeineren Erörterung der Reactionsmethoden und ihrer Ergebnisse, eingegangen werden. (Vgl. Abschnitt V.) Hier mag die Bemerkung genügen, dass gerade bei den Temperatur- und Schmerz-, ebenso wie auch bei den Geruchs- und Geschmacksempfindungen, die Reactionsversuche von fragwürdigem Werthe sind, sobald man bei ihnen mehr bezwecken sollte, als die verhältnissmäßige Langsamkeit aller dieser Erregungswirkungen, die auch schon ohne Versuche leicht zu erkennen ist, durch Experimente zu bestätigen. Denn gerade hier geben die Versuche über die Ursachen der Verlangsamung, ob diese z. B. peripherer oder centraler Natur sind u. s. w., gar keine Rechenschaft.

reflectorische oder selbst passive, einzelnen Körpertheilen von außen mitgetheilte Bewegungen sein. Diese Beziehung zur Bewegung ist es, wegen deren man die inneren Tastempfindungen auch »kinästhetische Empfindungen« genannt hat[1], — ein Ausdruck, der übrigens aus zwei Gründen unzweckmäßig ist: einmal weil er die Meinung erweckt, dass mit der Empfindung unmittelbar auch schon die Wahrnehmung der Bewegung gegeben sei, und sodann, weil die Bewegungsempfindung unter allen Umständen selbst erst ein aus mehreren elementaren Empfindungen zusammengesetztes Product ist.

Zerlegt man nämlich irgend eine Muskelwirkung in die Factoren, die, weil sie sich unabhängig von einander verändern können, auch in der Empfindung als relativ unabhängige Elemente erkennbar sind, so ergeben sich als solche Factoren zunächst diejenigen, die mit dem mechanischen Nutzeffect der Muskelthätigkeit zusammenhängen und demnach auf die Größe der geleisteten Arbeit zurückgehen. Diese letztere kann aber auf jedem als geradlinig anzusehenden Theil der Wegstrecke h, auf welcher der thätige Muskel oder Muskelcomplex eine Masse vom Gewicht p bewegt, durch das Product $p \cdot h$ gemessen werden. Nun lehrt die subjective Beobachtung der während irgend einer Muskelaction wahrzunehmenden Empfindungen, dass diesen beiden Factoren der geleisteten mechanischen Arbeit verschiedene und relativ unabhängig veränderliche Empfindungselemente entsprechen, oder dass wir, wie man diese Thatsache auch ausdrücken könnte, in der Empfindung die Muskelbewegung in ihre Factoren zerlegen. Demnach wollen wir die mit dem Gewichte p veränderliche Empfindung als die Kraftempfindung, die mit der Erhebungshöhe h veränderliche als die Lageempfindung bezeichnen, wobei übrigens, wie schon oben (S. 3) bemerkt wurde, diese Ausdrücke nur die Bedingungen andeuten sollen, unter denen die betreffenden Empfindungen entstehen, ohne dass diese darum irgend eine Vorstellung von Kraft oder von räumlicher Lage enthalten. Die in diesem Sinne, wie alle Empfindungen, lediglich intensiv und qualitativ bestimmten Kraft- und Bewegungsempfindungen sind nun unabhängig von einander veränderlich, und nur, weil sie dies sind, können sie natürlich unterschieden werden. Aber sie sind nicht sowohl verschiedene Arten, als zusammengehörige Componenten der inneren Tastempfindungen, von denen nur die Lageempfindungen in gewissen Grenzfällen annähernd isolirt vorkommen können. Dies ist nämlich der Fall bei den passiven Lagen und Lageänderungen einzelner Körpertheile, wogegen Kraftempfindungen ohne Lageempfindungen überhaupt

---

[1] Der Ausdruck stammt von CHARLTON BASTIAN her (The muscular sense. Brain. vol. 10, 1887, p. 1 ff.).

unmöglich sind. Immerhin kann eine isolirte Veränderung der Kraftempfindung entstehen, wenn bei gleich bleibender Lage die Belastung eines Körpertheils wechselt. Diese enge Verbindung beider Componenten erschwert natürlich in hohem Maß die psychologische Analyse. Bis zu einem gewissen Grade ausführbar ist aber die letztere mittelst der Vergleichung der Empfindungen unter Bedingungen, bei denen der Antheil jener Componenten möglichst variirt wird. Dabei ergibt sich dann, dass die Qualitäten der Lage- und der Kraftempfindungen jedenfalls einander sehr ähnlich, und dass sie beide wiederum mit den äußeren Berührungsempfindungen des Tastorgans nahe verwandt sind. Der am meisten charakteristische Unterschied beider dürfte darin bestehen, dass die Kraftempfindungen in ihrer Qualität einförmiger sind, jedoch eine große Zahl von Intensitätsabstufungen darbieten; wogegen sich umgekehrt die Lageempfindungen nur innerhalb engerer Intensitätsgrenzen bewegen, dafür aber in ihren qualitativen Eigenschaften außerordentlich variiren. Dies hängt offenbar damit zusammen, dass in jede Lageempfindung eine Mehrheit qualitativ verschiedener Empfindungen eingeht, die sich bald nur theilweise bald in ihrem ganzen Zusammenhang verändern, sobald ein Wechsel der Lage eintritt. Indem nun diese Empfindungscomplexe überdies an jedem einer relativ selbständigen Bewegung fähigen Körpertheil wieder andere sind, ergibt sich hieraus die ungemein zusammengesetzte Natur der Empfindungsmassen, durch die sich das Gebiet der inneren Tastempfindungen in jedem Augenblick an dem gesammten Empfindungsinhalt des Bewusstseins betheiligt.

In dem normalen Ablauf der Lebensvorgänge sind nun weiterhin noch die inneren Tastempfindungen in fortwährenden, stetigen und in einzelnen Momenten auch plötzlichen Veränderungen begriffen, an denen wiederum beide Componenten, in überwiegendem Maße aber die Lageempfindungen, theilnehmen. Insbesondere sind es die Bewegungen der einzelnen Körpertheile, die diese continuirlich wechselnden Empfindungen hervorbringen. Man pflegt danach jede solche zusammenhängende Reihe von Lageempfindungen, die eine einzelne Bewegung begleitet, als eine Bewegungsempfindung zu bezeichnen. Demnach sind die Bewegungsempfindungen nicht einfache Empfindungen, sondern Complexe von Kraft- und namentlich von Lageempfindungen der motorischen Organe, die in einer bestimmten zeitlichen Folge sich ablösen. So bemerken wir, dass bei der Bewegung eines Gliedes, z. B. des Armes, die Orte der deutlichsten Empfindung im Verlauf der Contraction wechseln: im Anfang derselben wird etwa vorzugsweise im Handgelenk die Bewegung empfunden, und bei fortschreitender Contraction wandert dann diese Stelle allmählich nach dem Ellenbogen- und Schultergelenk. Daneben beobachtet man aber,

dass noch zahlreiche andere Punkte zu- oder abnehmende Empfindungen vermitteln. Insofern nun hierbei jede locale Empfindung geringe qualitative Unterschiede darbietet, besteht die gesammte Bewegungsempfindung aus einem sehr verwickelten Complex elementarer Empfindungen, deren jede zugleich zeitliche Veränderungen in ihrer Intensität erfährt. Als die relativ einfacheren, immer aber selbst noch sehr zusammengesetzten Bestandtheile, aus denen eine dem Uebergang eines Theils aus einer Stellung *A* in eine Stellung *N* entsprechende Bewegungsempfindung resultirt, bleiben so die einzelnen Lageempfindungen *A*, *B*, *C* . . . übrig, mit denen sich in mehr zurücktretender Weise kleine intensive Unterschiede der Kraftempfindungen verbinden. Die Analyse aller dieser Empfindungen ist nicht nur deshalb ungemein schwierig, weil es sich um sehr verwickelte und fortwährend veränderliche Empfindungscomplexe handelt, sondern auch deshalb, weil wir dieselben sofort auf ihre zusammengesetzten Erfolge, die Bewegungszustände der Theile unseres Leibes, beziehen. Indem jede elementare Empfindung in eine zusammengesetzte Lage- und Bewegungsvorstellung eingeht, in der sie mit einer großen Zahl anderer Empfindungselemente verschmolzen ist, sind wir außer stande, sie aus dieser Verbindung zu lösen.

Eine weitere Schwierigkeit erwächst sodann aus der festen Verbindung, welche die Kraft- und die Lage- und Bewegungsempfindungen unter einander eingehen. Eine Trennung dieser Verbindung findet nur in zwei Fällen statt, die denn auch offenbar die Grundlagen für die Unterscheidung jener Componenten abgeben: erstens bei der passiven, durch äußere Druck- oder Zugkräfte bewirkten Bewegung eines Gliedes, wo die Kraftempfindung hinwegfällt und nur die Lageempfindungen, in der Regel verbunden mit den durch die äußeren Kräfte ausgelösten Druckempfindungen an der Hautoberfläche, übrig bleiben; und zweitens bei solchen Kraftanstrengungen der Muskeln, bei denen, entweder durch äußere Widerstände oder durch den innern der Antagonisten, der betreffende Körpertheil seine Lage nicht verändert, und wo demnach keine Lageempfindung, wohl aber eine Kraftempfindung, zumeist wieder verbunden mit äußeren Druckempfindungen, stattfindet. Eigenthümliche, unter speciellen Bedingungen auftretende Verbindungen der Kraftempfindung mit solchen äußeren Druckempfindungen sind ferner die Compressions- und die Zugempfindungen, von denen die ersteren durch äußere Widerstände, die sich der Bewegung eines Gliedes entgegenstellen, die letzteren durch den Zug von Gewichten erzeugt werden. Diese können, namentlich bei erhöhter Empfindlichkeit, auch durch das Eigengewicht der Körpertheile entstehen, wo man sie dann als Schwereempfindungen bezeichnet. Abweichender verhält sich die Ermüdungsempfindung der Muskeln. Sie

kann als eine Nachempfindung betrachtet werden, die starke oder oft wiederholte Muskelanstrengungen zurücklassen, und die bei mäßigeren Graden den Kraftempfindungen, auf die sie als ihre Nachwirkung folgt, auch qualitativ verwandt zu sein scheint. So lange sie von geringer Intensität ist, dauert sie nur in der Ruhe an, um bei eintretender Bewegung vollständig durch die Bewegungs- und Kraftempfindungen verdrängt zu werden. Dagegen wird sie in ihren stärkeren Graden durch die Bewegung gesteigert, und sie verbindet sich dann auch leicht mit Schmerzempfindungen in den Muskeln und Gelenken. Hierdurch bildet die Ermüdungsempfindung einen Uebergang zu den Gemeinempfindungen. Wie durch die inneren Tastempfindungen überhaupt unser allgemeines körperliches Befinden in hohem Grade beeinflusst wird, so spielen in der That besonders die Ermüdungsempfindungen bei demselben eine wichtige Rolle. Das Schwächegefühl der Kranken und Altersschwachen beruht wahrscheinlich ganz und gar auf Ermüdungsempfindungen.

Die festen Verbindungen, die bei den Stellungen und Bewegungen des Körpers und seiner Theile die Kraft- und Lageempfindungen mit einander bilden, sind die häufigsten Ursachen der gerade im Gebiet des inneren Tastsinnes besonders häufig vorkommenden Empfindungstäuschungen. Sobald nämlich der normale Zusammenhang von Kraft- und Lage- oder Bewegungsempfindungen gestört wird, pflegt sich die Abweichung der einen dieser Componenten mit einer entsprechenden Veränderung auch der andern zu associiren. Nun sind es vor allem die Kraftempfindungen, die in Folge vorübergehender oder dauernder, peripherer oder centraler Störungen solchen Abweichungen ausgesetzt sind, während die Lageempfindungen vermöge ihrer natürlichen Entstehungsbedingungen von festerem Bestande sind. Die fraglichen Abweichungen pflegen sich daher in dem Sinne geltend zu machen, dass mit übernormalen Kraftempfindungen intensivere Bewegungsempfindungen und mit unternormalen minder intensive verbunden sind, als den wirklichen Lageänderungen entspricht. So überschätzen wir häufig bei der Erhebung eines ungewöhnlich großen Gewichts die Erhebungshöhe. In noch höherem Maße finden sich ähnliche Täuschungen in Zuständen partieller Lähmung, sogenannter Parese, wo bei der Bewegung eines halb gelähmten Gliedes nicht nur die Empfindung einer außerordentlichen Schwere desselben, also eine gesteigerte Kraftempfindung, vorhanden ist, sondern zugleich der Umfang der Bewegungen mehr oder weniger erheblich überschätzt zu werden pflegt[1]. Associative Veränderungen im umgekehrten Sinne, also

[1] Vgl. unten e, sowie mit Rücksicht auf die hieraus resultirenden räumlichen Täuschungen Cap. XIII und XIV.

z. B. Unterschätzungen der Erhebung eines kleinen Gewichts, beobachtet man dagegen nicht oder mindestens nicht in irgend bemerkbarer Weise. Wohl aber finden sich Veränderungen der Kraftempfindung, die sich je nach Umständen als Verstärkungen oder als Verminderungen geltend machen können, unter solchen Bedingungen, bei denen andere vorangegangene oder gleichzeitige Empfindungen einen Einfluss auf dieselben ausüben. Allgemein bekannt ist in dieser Beziehung namentlich die Unter- oder Ueberschätzung gehobener Gewichte in Folge des sogenannten Erwartungseinflusses, die leicht auch experimentell zu bestätigen ist[1]. Dass es sich hier lediglich um Associationswirkungen handelt, durch die ein bestimmter Empfindungscomplex einen andern oder einzelne Componenten desselben verändert, erhellt deutlich aus folgenden Beobachtungen, bei denen die im vorigen Fall successiv stattfindenden Einflüsse durch die Mitwirkung eines andern Sinnesgebiets, nämlich des Gesichtssinns, in simultane verwandelt werden. Hebt man ein Gewicht, mit dem sich nach seinem Volumen die Vorstellung einer bedeutenderen Größe associirt, als die es wirklich besitzt, so erscheint dasselbe abnorm leicht; wird umgekehrt nach dem Gesichtseindruck des Volums ein leichteres erwartet, so erscheint es abnorm schwer. Stellt man demnach einen Satz aus lauter gleichen Gewichten her, die sich aber nach ihrem Volum wie ein gewöhnlicher aufsteigender Gewichtssatz ausnehmen, so erscheinen beim Heben alle Gewichte verschieden, die größeren kleiner, die kleineren größer[2]. In allen diesen Fällen werden offenbar associative Contrasteinflüsse wirksam. Die psychologische Erörterung dieser Erscheinungen muss darum der allgemeinen Betrachtung der Contrastassociation (in Abschn. V) überlassen bleiben. Ebenso sei auf dasjenige Gebiet von Empfindungen, das oben (in Cap. VIII) als ein aller Wahrscheinlichkeit nach durchaus dem inneren Tastsinn zuzurechnendes bezeichnet wurde, auf das der tonischen Sinnesorgane, hier nur vorläufig hingewiesen. Bei den engen Beziehungen dieser Empfindungen zu den Bewegungsvorstellungen müssen sie um so mehr der Erörterung der letzteren vorbehalten bleiben, als eine auch nur annähernde Isolirung der Empfindungen in diesem Fall noch viel weniger möglich ist als bei den inneren Tastempfindungen.

e. Physiologische Substrate der inneren Tastempfindungen.

Gegenüber so vielgestaltigen Empfindungen, wie sie an die Bewegung der Theile unseres Körpers geknüpft sind, drängt sich von selbst die Vermuthung auf, es möchten dieselben auf verschiedene Ursachen zu

[1] G. E. Müller und Schumann, Pflügers Archiv, Bd. 45, 1889, S. 37 ff.

[2] Dresslar, Amer. Journ. of Psychology, vol. 6, 1893, p. 313. Seashore, Stud. from the Yale psychol. Labor. vol. 4, 1896, p. 27. Psychol. Review, vol. 4, 1897, p. 522.

beziehen sein. Nichts desto weniger hat sich in der Physiologie und, ihr folgend, auch in der Psychologie meistens die Tendenz geltend gemacht, alle diese Empfindungen wo möglich aus einer Quelle abzuleiten. In dieser Absicht hat man sie entweder 1) auf Druckempfindungen der Haut, oder 2) auf Gelenkempfindungen zurückzuführen gesucht, oder man hat in ihnen 3) specifische Muskelempfindungen gesehen, die, von sensibeln Apparaten und Nerven im Innern der Muskeln abhängig, entweder als Empfindungen eines specifischen Muskelsinnes oder als eine besondere Art sogenannter »kinästhetischer Empfindungen« zu betrachten seien; endlich hat man sie 4) als Innervationsempfindungen bezeichnet, indem man annahm, dass sie von der centralen Innervation der Bewegungsorgane abhängig und daher überhaupt nicht sowohl peripheren als centralen Ursprungs seien.

Keine dieser vier Hypothesen über den sogenannten Muskelsinn ist jedoch zureichend, um über die Gesammtheit der Erscheinungen Rechenschaft zu geben. Dagegen dürfte jede insofern einen Theil der Wahrheit enthalten, als die an die Bewegung und Stellung der Glieder geknüpften Empfindungen im allgemeinen complexe Verschmelzungsproducte aus verschiedenen Empfindungen, und außerdem je nach den Bedingungen, unter denen die Stellungen und Lageänderungen zu stande kommen, von verschiedenem Ursprung sind. In letzterer Hinsicht sind insbesondere die durch passive Lageänderung der Theile entstehenden von den durch active Muskelwirkungen erzeugten zu unterscheiden. Die bei passiver Bewegung vorhandene Empfindung hat vorzugsweise ihren Sitz in den Gelenken, wozu als inconstantere und schwächere Elemente, namentlich bei ausgiebigeren Bewegungen, noch Druckempfindungen der äußeren Haut, durch die Faltenbildungen derselben entstehend, und vielleicht auch Compressions- und Zugempfindungen der Muskeln und Sehnen hinzutreten können. Die vorwiegende Bedeutung der Gelenkempfindung bei der passiven Bewegung ergibt sich theils aus der Localisation der Empfindungen in den Gelenken, theils aus der feinen Auffassung sehr kleiner Drehungen, bei denen Druck- oder Compressionsempfindungen nicht merklich von Einfluss sein können. Auch wird die Auffassung kleiner Bewegungen durch Aufhebung der Hautempfindlichkeit mittelst elektrischer Ströme nicht merklich beeinträchtigt[1]. Bei activer Bewegung finden sich zunächst die bei der passiven vorkommenden Empfindungen in genau entsprechender Weise. Es tritt dann aber, während die Gelenkempfindungen in Folge der Druckzunahme in den

[1] GOLDSCHEIDER, Archiv f. Physiol., 1889, S. 490 ff. Ges. Abhandl., Bd. 2, S. 92 ff. Ueber die Reizschwelle bei passiven Gelenkbewegungen vgl. Cap. IX, Bd. 1, S. 533.

Gelenken verstärkt werden, außerdem eine deutlich in den Muskeln selbst und in den Sehnen derselben localisirte Empfindung hinzu. Diese bildet den oben als Kraftempfindung bezeichneten Bestandtheil des ganzen Empfindungscomplexes. Von ihr unterscheiden sich die Compressions- und die Zugempfindung, abgesehen von den meistens vorhandenen gleichzeitigen äußeren Druckempfindungen, durch eine besonders starke Betheiligung von Gelenkempfindungen, wozu bei den Zugwirkungen noch mehr oder minder intensive Sehnenempfindungen hinzutreten. Alle die hiermit zusammenhängenden localen Eigenschaften der Empfindungen kann man leicht bei aufmerksamer Selbstbeobachtung während der langsamen Ausführung passiver und activer Bewegungen wahrnehmen.

Neben diesen unmittelbar aus peripheren Reizen entspringenden Empfindungen scheint aber endlich noch die Annahme von Empfindungen centralen Ursprungs unerlässlich zu sein, die unter normalen Verhältnissen hinter den mit ihnen qualitativ übereinstimmenden peripheren Kraft- und Lageempfindungen zurücktreten mögen, die jedoch in Fällen von Lähmungen der Bewegungsorgane zu auffallenden Bewegungstäuschungen Veranlassung geben können. Der Paralytiker, der sein vollständig gelähmtes Bein aufzuheben sucht, hat häufig eine deutliche Empfindung von Kraftanstrengung, obgleich alle jene Elemente der Empfindung fehlen, die in der Bewegung der Gelenke, in der Contraction der Muskeln, in dem Druck der Hauttheile ihre Quellen haben. Nun beobachtet man allerdings in solchen Fällen in der Regel Mitbewegungen anderer, nicht gelähmter Theile. Ist z. B. das rechte Bein gelähmt, so wird unwillkürlich das linke mitbewegt; sind beide Beine gelähmt, so treten Mitbewegungen des Rumpfes und der Arme ein. Solche Mitbewegungen mögen darum immerhin bei den scheinbar in den gelähmten Theilen selbst localisirten Bewegungsempfindungen mitwirken. Aber obgleich sie auf diese Weise wahrscheinlich zur Verstärkung des ganzen Empfindungscomplexes beitragen, so bleibt doch die bestimmte Localisation in den gelähmten Theilen nur dann begreiflich, wenn man außerdem auch noch direct auf diese selbst bezogene centrale Componenten zu Hülfe nimmt. Andernfalls müsste man annehmen, dass der bloße Wille, eine bestimmte Bewegung auszuführen, entweder an und für sich schon genügte, die entsprechende Bewegungsvorstellung zu erwecken, oder doch mindestens im stande sei, eine in Wirklichkeit in ganz andern Organen localisirte Empfindung auf die gelähmten Theile zu übertragen. In der That hat man diese Annahme vielfach der Deutung der Erscheinungen zu Grunde gelegt[1]; und wenn sie auch von vornherein wegen

[1] G. E. Müller und F. Schumann, Pflügers Archiv, Bd. 45, S. 37 ff. W. James, Principles of Psychology, vol. 2, p. 503. Ihren Ursprung hat diese Annahme übrigens aus

der eigenthümlichen Willenstheorie, die sie in sich schließt, psychologisch bedenklich ist, so sind doch solche Fälle von Paralyse der Körpermuskeln wenig geeignet, zu einer sicheren Entscheidung zu führen. Denn bei der Unbestimmtheit, die häufig der Localisation der Bewegungen gelähmter Glieder zukommt, und in Anbetracht der mangelhaften Auskunft, die paralytische Patienten meist über ihren Zustand geben, ließe sich immerhin, auch wenn man den Willen aus dem Spiele lässt, wohl an Erinnerungstäuschungen oder an eine auf getrübter Auffassung der Empfindung beruhende fehlerhafte Localisation denken.

Da fügt es sich nun glücklich, dass uns bei partiellen Lähmungen der Augenbewegungen nicht selten die Symptome analoger Zustände in einer für die nähere Analyse überaus günstigen Form entgegentreten, in einer Form zugleich, die wie dazu geschaffen scheint, den Antheil der insufficient gewordenen und der normal gebliebenen Innervationen gegen einander abzuwägen. Unter den paretischen Zuständen der Augenmuskeln bieten in dieser Beziehung namentlich die des äußeren geraden Augenmuskels deshalb besonders vortheilhafte Bedingungen, weil sie bei der isolirten Innervation dieses Muskels von einem einzigen Nerven (dem Abducens) am häufigsten vollkommen isolirt, bei sonst normaler Beschaffenheit der motorischen und der sensorischen Functionen vorkommen. Da aber in diesem Fall die synergisch thätigen Muskeln die des andern, gesunden Auges sind, so bietet das Verhältniss der entstehenden Doppelbilder ein exactes Hülfsmittel, um den Einfluss der direct gestörten Innervation und der compensirenden der synergisch thätigen Muskeln gegeneinander abzuschätzen[1]. Führt man nun z. B. bei einem Patienten mit Parese des rechten Abducens einen Sehversuch zunächst in der durch Fig. 158 *A* schematisirten Weise aus, indem man nämlich das linke, gesunde Auge durch einen Schirm *S* verdeckt, und mit dem rechten, paretischen zuerst ein gegen die Mittellinie gelegenes Object *a*, dann ein nach rechts gelegenes *b* fixiren lässt, so ergibt sich folgendes. Das Object *a* wird richtig fixirt und an seinem richtigen Ort wahrgenommen. In dem Moment, wo sich das Auge *R* von *a* nach *b* bewegt, tritt aber

---

den unten zu erwähnenden Hypothesen über die Entstehung der Localisationsstörungen bei Augenmuskellähmungen genommen.

[1] Ich entnehme die folgende Schilderung des thatsächlichen Verhaltens zunächst der Darstellung von M. SACHS (Archiv f. Ophthalmologie, Bd. 44, 1897, S. 320 ff.). Da SACHS selbst auf der Seite der hier als unhaltbar zurückgewiesenen Localisationstheorie steht, so ist damit die Objectivität der Schilderung um so mehr verbürgt. Uebrigens stimmen auch die andern Beobachter, z. B. ALFR. GRAEFE (Handbuch der gesammten Augenheilkunde[2], Bd. 8, II, 1898, S. 25 ff.), der die Localisationsstörungen direct aus der erschwerten Innervation des paretischen Muskels ableitet, in allem wesentlichen überein. Wir beschränken uns hier selbstverständlich auf die das Gebiet des sogenannten »Muskelsinns« betreffenden Erscheinungen; auf ihre Beziehungen zu den räumlichen Gesichtsvorstellungen wird später (in Cap. XIV) einzugehen sein.

eine Scheinbewegung des ganzen äußeren Gesichtsraumes im selben Sinne, also in der Richtung des Pfeiles, ein, und das Object *b* wird nun nicht in der Richtung *c b* der auf dasselbe eingestellten Gesichtslinie, sondern nach *c' b'* localisirt, es wird also zu weit nach außen verlegt, in der Richtung der Wirkung des paretischen Muskels. Auch erfolgt die Bewegung von *a* nach *b* in verlangsamtem Tempo, ähnlich wie man dies auch sonst an halbgelähmten Theilen beobachtet. Zugleich zeigt sich aber, dass das verdeckte normale Auge an der Bewegung des paretischen theilgenommen hat: seine Gesichtslinie ist in der Richtung *d b'* eingestellt. Bliebe man mit der Ausführung des Versuchs hierbei stehen, so würde sich daher die ganze Localisationsstörung aus dieser Mitbewegung des

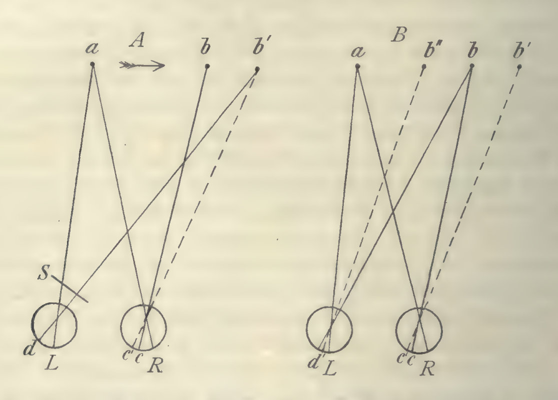


Fig. 158. Localisationsstörungen bei Abducenslähmung: *A* bei verdecktem normalem Auge, *B* bei binocularem Sehen.

linken Auges ableiten lassen. Man könnte sagen: die Richtung, in der *b* gesehen wird, hängt von der Richtung der Gesichtslinie des gesunden Auges ab, und demnach wird *b* in der Richtung *d b'* gesehen, also nach *b'* verschoben. Nur die im Moment des Uebergangs von *a* nach *b* eintretende Scheinbewegung würde aus dieser Annahme nicht zu erklären sein. Nimmt man nun aber, nachdem die Bewegung von *a* nach *b* eingetreten ist, den Schirm *S* weg, so zeigen sich einige weitere Erscheinungen, die beweisen, dass sich in Wahrheit auch die Localisationsstörung nicht aus den Mitbewegungen des gesunden Auges ableiten lässt. Die Fig. 158 *B* stellt die jetzt zu beobachtenden Erscheinungen dar: im Moment, wo der Schirm hinweggezogen wird, treten Doppelbilder auf, und zwar behält dabei das Bild des rechten, paretischen Auges seine nach

rechts abgelenkte Localisation b' bei; das Bild des linken, normalen Auges aber erscheint links vom wirklichen Objectpunkte b, bei einem Punkte b'', der ungefähr ebensoweit nach innen, wie b' nach außen von b liegt. Dieser Erfolg zeigt evident, dass die Täuschung in A nicht von einer übergroßen Mitbewegung des verdeckten normalen Auges herrühren kann. Vielmehr lässt der ganze Complex von Erscheinungen nur die folgende Deutung zu: 1) Die Rechtsablenkung des Punktes b ist eine directe Folge der verstärkten Innervation des paretischen Abducens des Auges R. Auch die Scheinbewegung des äußeren Raumes beim Uebergang von b nach b' ist, ebenso wie die Verlangsamung der Bewegung, eine Folge dieser intensiveren Anstrengung und ihrer Beziehung auf eine extensiv größere Raumstrecke. Denn indem der Weg von b nach b' größer aufgefasst wird, als er wirklich ist, tritt diese Auffassung in einen Widerspruch mit der thatsächlichen Vertheilung der Gegenstände im Raum, der durch diese Scheinbewegung der Objecte ausgeglichen wird. Demnach beobachtet man denn auch, dass bei totaler Abducenslähmung das Auge sich in Wirklichkeit gar nicht bewegt, nun aber statt der intendirten Augenbewegung lediglich jene Scheinbewegung der Objecte eintritt. 2) Die übermäßige Rechtswendung des verdeckten normalen Auges L ist eine Folge der Synergie des Rectus internus dieses Auges mit dem Rectus externus des rechten, welche Synergie sich wiederum nicht nach der wirklich ausgeführten Bewegung des sehenden, paretischen Auges R, sondern nach der Innervationsenergie desselben richtet. 3) In dem Augenblick, wo das Object auch für das normale Auge L durch Wegnahme des Schirms sichtbar wird, tritt an die Stelle der bisherigen bloß synergischen Innervation die Wirkung des Objectes b selbst auf die Blickbewegung des Auges L. Da nun im Moment, wo b sichtbar wird, die synergische Fixationsrichtung $d\ b'$ auf den Ort b des Objectes bezogen wurde, so muss das Bild von b im Auge L im Verhältniss zum wirklichen Objectpunkte b ebenso weit verschoben erscheinen, wie das vorherige Scheinbild des Auges R, aber nach der entgegengesetzten Seite. So erklärt sich das Doppelbild b'' in Fig. 158 B, das aber, wie schon diese Entstehungsbedingungen vermuthen lassen, eine viel flüchtigere Erscheinung ist als die directe Localisationsstörung des paretischen Auges, daher es denn auch nur in den Anfangsstadien der Abducenslähmung beobachtet wurde[1]. Aus der Gesammtheit dieser Thatsachen ist zu schließen, dass die synergische Thätigkeit der Muskeln der gesunden Seite, wenn sie überhaupt bei der Störung der Bewegungsempfindungen

---

[1] SACHS, a. a. O. S. 328. A. GRAEFE bemerkt, ihm sei es überhaupt nicht gelungen, solche Ablenkungen der Doppelbilder des gesunden Auges wahrzunehmen (a. a. O. S. 27).

betheiligt sein sollte, dies jedenfalls nur in verschwindendem Grade ist. Wäre sie die wirkliche Ursache, so müsste die Lageabweichung in dem Augenblick corrigirt werden, wo binoculares Sehen eintritt. Noch weniger könnte natürlich die oben erwähnte compensirende Localisationstäuschung des normalen Auges eintreten. Vielmehr zeigt gerade diese deutlich, dass die falsche Convergenz des verdeckten normalen Auges nicht die Ursache der falschen Localisation, sondern dass umgekehrt die letztere bez. die ihr entsprechende falsche Innervation des kranken Auges die Ursache der falschen synergischen Einstellung des gesunden ist, aus der sich dann im Moment ihrer Aufhebung die geschilderten Doppelbilderscheinungen mit Nothwendigkeit ergeben. In diesem Sinne kann man wohl sagen, dass diese Erscheinungen am Auge eine Art von Experimentum crucis abgeben für den Einfluss der Innervationsenergie überhaupt auf die Kraft- und Lageempfindungen der muskulösen Bewegungsorgane.

Nun sind allerdings hiergegen zwei Einwände erhoben worden. Erstens wird bemerkt, von den Bewegungen unserer Augen als solchen besäßen wir überhaupt kein Bewusstsein und also auch keine Empfindung, wir empfänden vielmehr nur die Veränderungen in der Wahrnehmung äußerer Objecte, die durch die Augenbewegungen herbeigeführt werden; dasselbe gelte dann selbstverständlich auch für Menschen mit paretischen Augenmuskeln, welche also die Bewegungen ihres Auges nicht direct als erschwerte empfinden könnten. Zweitens sei das primär bei den beschriebenen Störungen wahrzunehmende Phänomen die (in Fig. 158 *A* durch den Pfeil angedeutete) Scheinbewegung; folglich sei die Scheinbewegung die Ursache der falschen Localisation, und nicht umgekehrt. Die Scheinbewegung leitet man demnach nicht aus irgend welchen motorischen oder sensorischen Vorgängen am Sinnesapparat selbst ab, was natürlich immer wieder auf primäre Localisationstäuschungen zurückführen würde, sondern man deutet sie als Wirkungen der Einbildungskraft oder des Willens: der Patient wolle z. B. sein Auge nach außen bewegen, aber er könne es nicht, und in Folge dessen trete nun eine seiner Willensintention entsprechende Bewegungstäuschung ein[1]. Unter diesen Einwänden erledigt sich der erste eigentlich schon durch die Bemerkung, dass, wenn man ihm stattgeben wollte, mit den Empfindungen der Augenbewegungen auch die sämmtlichen andern »kinästhetischen« Empfindungen gestrichen werden müssten, da doch wohl niemand geneigt sein wird, dem Auge unter allen Bewegungsorganen allein die Eigenschaft der Empfindungs-

[1] Auch als »Ortswechsel der Aufmerksamkeit« ist der hier postulirte Vorgang bezeichnet worden. Doch begründet dies wohl keinen wesentlichen Unterschied in der Auffassung desselben. Vgl. Mach, Beiträge zur Analyse der Empfindungen. 1886, S. 57. Hering, Hermanns Handbuch der Physiologie, Bd. 3, I, S. 534 f.

losigkeit zuzuschreiben. Auch ist es positiv nicht richtig, dass wir Augenbewegungen nicht als solche empfinden können. Für extensivere Bewegungen gilt dies zweifellos. Dass wir starke Bewegungen ziemlich intensiv, schwächere gar nicht empfinden sollten, ist aber an und für sich wenig wahrscheinlich. Wenn wir bei minder umfangreichen Bewegungen die Bewegungsempfindungen als solche beim Auge, gerade so wie bei den andern Bewegungsorganen, wenig beachten, so erklärt sich dies zureichend daraus, dass sie mit den gesammten Empfindungscomplexen verschmelzen, welche in die Vorstellungen unserer Bewegungen eingehen. Wollte man aus der bei der gewöhnlichen Sinneswahrnehmung vorhandenen Nichtbeachtung solcher Empfindungen immer auf ihre Nichtexistenz schließen, so müsste man ebenso gut annehmen, dass die Obertöne eines Klangs, oder dass die Unterschiede der Farbenempfindlichkeit in den Seitentheilen des Sehfeldes in der Regel nicht existiren, weil wir sie nicht als solche wahrnehmen. Wenn dann aber weiterhin die Scheinbewegung der Gegenstände als das primum movens der Localisationsstörungen angesehen und als Wirkung der Einbildungskraft, der Aufmerksamkeit oder des Willens gedeutet wird, so operirt man hier mit psychologischen Vermögensbegriffen, die, der Metaphysik vergangener Tage entlehnt, aus der empirischen Psychologie endgültig verbannt sein sollten. Denn diese kennt ebenso wenig ein abstractes Willensvermögen, wie eine ohne alle sinnliche Empfindungen, als »Actus purus«, wirksame Aufmerksamkeit, die, wenn nicht die Berge selbst, so doch die Bilder derselben in unserem Bewusstsein beliebig versetzen könnte.

Wird somit die Frage nach der Betheiligung centraler Empfindungscomponenten an den unter dem Namen der »Bewegungsempfindungen« zusammengefassten Empfindungscomplexen durch die angeführten Beobachtungen endgültig im positiven Sinne beantwortet, so ist aber damit doch die nähere Natur dieser Componenten noch nicht sicher bestimmt. Vielmehr bleiben hier zwei Annahmen möglich. Entweder sind jene Componenten direct an die motorische Innervation gebunden, so dass jede motorische Erregung unmittelbar von einer Empfindung begleitet wird, die in den motorischen Innervationscentren selbst oder sogar in den motorischen Nerven ihren Sitz hat. Oder es handelt sich um eine sensorische Miterregung, die an die motorische Innervation gebunden ist. Die erste dieser Annahmen ist die Hypothese der »Innervationsempfindungen«. Sie ist die einfachste, und deshalb wurde sie von den Physiologen und Pathologen zunächst ergriffen, als es sich darum handelte, die Erscheinungen bei Gelähmten zu deuten. Sie ist aber die unwahrscheinlichste, und im Hinblick auf unsere heutige Kenntniss der psychophysischen Bedingungen der Empfindung ist sie kaum

mehr aufrecht zu erhalten. Scheinen doch überall die motorischen von den sensorischen Leitungsbahnen und demnach auch die entsprechenden Centren von einander gesondert zu sein, wenngleich die zum selben Functionsgebiet gehörigen Centren einander benachbart und sicherlich durch intermediäre Leitungen verbunden sind[1]. Sodann zeigt die Untersuchung der physischen Bedingungen der Empfindung, dass diese sonst überall in Reizen, die auf äußere Sinnesflächen des Körpers einwirken, ihre ursprüngliche Quelle hat. Erst nachdem der äußere Vorgang der Empfindung ihr eigenthümliches Gepräge gegeben, kann dann diese auch auf bestimmte rein centrale Veranlassungen hin als »centrale Sinnesempfindung« entstehen. Bei den Innervationsempfindungen würde es sich nun gewissermaßen um primäre centrale Sinnesempfindungen handeln, die trotzdem in die gleichen peripheren Körpertheile verlegt würden, in denen wir die ursprünglich peripher entstehenden Empfindungen localisiren; ja noch mehr, man müsste annehmen, dass auch qualitativ diese aus so ganz anderer Quelle stammenden centralen motorischen Empfindungen mit den durch die peripheren Vorgänge ausgelösten in den Muskeln, Sehnen, Gelenken wesentlich übereinstimmten. Nach allem dem bleibt nur die zweite Annahme übrig: die centralen Componenten der Bewegungsempfindungen beruhen auf Miterregungen, welche die zu dem betreffenden Functionsgebiet gehörenden sensorischen Centren ergreifen, woraus dann auch die qualitative Uebereinstimmung dieser centralen Componenten mit den peripher ausgelösten Bewegungsempfindungen ohne weiteres begreiflich wird. Physiologisch aber ist diese Miterregung in der normalen functionellen Verbindung der dem gleichen Functionsgebiete zugehörigen motorischen und sensorischen Centren begründet, der im allgemeinen auch ihre räumliche Nähe entspricht. Damit erscheint zugleich die centrale Componente als ein regelmäßiger Bestandtheil des an die Bewegung gebundenen Empfindungscomplexes, der, außer in jenen ihn relativ isolirenden pathologischen Fällen, schon bei den normalen Empfindungen seinen Einfluss geltend macht. Das in Fig. 159 dargestellte Schema mag diese Verhältnisse veranschaulichen. Ein Muskelgebiet M wird einerseits centrifugal von einem motorischen Centralgebiet P aus innervirt. Anderseits steht es centripetal samt den ihm zugeordneten sensibeln Organen G, wie Gelenken, Sehnen, äußerer Haut, in centripetaler Verbindung mit dem dem gleichen Functionsgebiet zugehörigen sensorischen Centrum T. Werden nun die Theile M und G passiv durch eine äußere Kraft bewegt, so werden nur die Leitungen $M\,T$, $G\,T$ in Anspruch genommen, indes zugleich die in den muskulösen

[1] Vgl. Bd. 1, Cap. V, S. 202 ff.

Theilen M ausgelösten Empfindungen wegen der hier fehlenden inneren Compression der Muskelelemente eine qualitativ abweichende, die passive von der activen Bewegung unterscheidende Beschaffenheit besitzen. Aber auch in anderer Beziehung wird sich der eine active Bewegung begleitende Empfindungsvorgang in wesentlich abweichender Weise abspielen. Indem er mit der motorischen Innervation in P beginnt, werden nämlich, während in M und G die sensibeln Reize einwirken, die sich nach dem Centrum T fortpflanzen, in diesem gleichzeitig oder kurz zuvor schon durch die motorische Innervation Miterregungen entstehen, die, von P nach T geleitet, dieselben Empfindungen, nur muthmaßlich in schwächerem Grade, erzeugen, die dann direct von M und G her ausgelöst werden. In dem normalen Ablauf der Lebensvorgänge kommen nun diese centralen Miterregungen nicht zu gesonderter Beobachtung, weil sie unmittelbar mit den centripetal zugeführten Erregungen zusammenfließen. Immerhin dürften sie sich auch hier darin geltend machen, dass die Bewegungsempfindung schon kurze Zeit vor ihrer peripheren Auslösung beginnt. Als qualitativ bestimmte Empfindungen werden sie allerdings erst dann auftreten, nachdem sie überhaupt durch ihre peripheren Entstehungsursachen dem Centralgebiet T eingeübt sind, so dass sie in dieser Hinsicht vollständig jener Classe der centralen Sinnesempfindungen zugezählt werden können, die die Begleiter unserer Erinnerungsvorstellungen bilden.

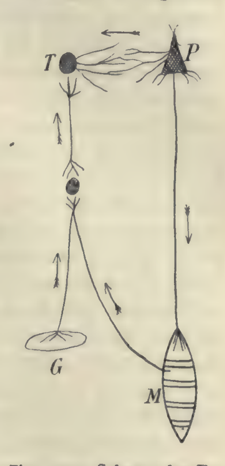


Fig. 159. Schema der Erregungsleitungen bei activer Bewegung.

Vom psychologischen Standpunkte aus können daher diese centralen Componenten wohl auch als die reproductiven Elemente der Bewegungsempfindungen bezeichnet werden. Auch in dieser Beziehung ist also jener centrale Bestandtheil nichts neues, was erst beim Hinwegfall der normalen peripheren Reizungen für die letzteren eintritt, sondern ein überall dieselben begleitendes Complement, ohne das die Einübung und die fortwährende Regulation der Bewegungen nach vorangegangenen Empfindungen unmöglich sein würde. Die hier sich ergebende Verbindung der directen und der reproductiven Elemente reiht sich auf solche Weise ganz und gar jenen Assimilationsvorgängen ein, die uns als wichtige Bestandtheile der Sinneswahrnehmung weiterhin noch in den mannigfaltigsten Gestaltungen begegnen werden. (Vgl. Abschn. III und V.) Hiernach dürfte, um Missverständnisse über die Natur dieser Empfindungen zu verhüten,

der Ausdruck »Innervationsempfindungen«, dem nun einmal jener Begriff einer direct die motorische Innervation begleitenden Empfindung anhaftet, besser ganz zu vermeiden und statt dessen der andere »centrale Bewegungsempfindungen« oder »centrale Componenten der inneren Tastempfindungen« zu gebrauchen sein. Als Fälle, in denen diese Componenten beim Hinwegfall der peripher ausgelösten Erregungen für diese eintreten, werden dann aber, abgesehen von den oben besprochenen Lähmungszuständen, auch noch diejenigen sogenannten Empfindungstäuschungen gelten müssen, die beim Verlust eines Körpertheils beobachtet werden. So haben Amputirte, besonders in der ersten Zeit nach der Entfernung des Gliedes, nicht selten deutliche Vorstellungen von activen Bewegungen und Stellungen desselben[1]. Offenbar sind das Erscheinungen, die den Bewegungsempfindungen der Gelähmten vollständig gleichen, und wo nun die oben erwähnte Zurückführung dieser centralen Componenten auf den »Willen« des Patienten zu der sonderbaren Consequenz führen würde, dass ein Amputirter im stande sei, sich willkürlich die täuschende Illusion zu verschaffen, als wenn er das verlorene Bein noch besäße. Anderseits erklärt sich aber auch aus der centralen Natur dieser Componenten die immerhin bei der Vergleichung der verschiedenen hierher gehörigen Beobachtungen hervortretende relative Veränderlichkeit der Erscheinungen, wie sie wohl bei centralen Miterregungen, kaum aber bei peripherer Reizung vorkommen kann. Besonders werden unter diesem Gesichtspunkte auch die mannigfachen Abweichungen verständlich, die das Symptomenbild solcher partieller Lähmungen bei hysterischen, also ohnehin in der centralen Coordination der nervösen Functionen gestörten Individuen zeigt. Hierher gehören die Fälle, wo, bei völliger Empfindungslosigkeit der äußeren Haut und wie es scheint auch der Gelenke und Muskeln, bei geschlossenem Auge passive Bewegungen eines Gliedes überhaupt nicht wahrgenommen, active aber bei zugerufenem Befehl nicht ausgeführt werden können, wogegen bei geöffnetem Auge und unter der Controle des Gesichtssinnes die willkürlichen Bewegungen ohne Schwierigkeit zu stande kommen[2]. Mögen auch solche Erscheinungen ein weiteres Zeugniss für die ungemein complexe

---

[1] WEIR MITCHELL, Injuries of Nerves and their consequences, p. 348. Angef. von CHARLTON BASTIAN, Brain, vol. 10, p. 37.

[2] DUCHENNE, Physiologie der Bewegungen, deutsch von C. WERNICKE, 1885, S. 613. Die Litteratur über diese und andere, von DUCHENNE unter dem Namen der »conscience musculaire« zusammengefasste Erscheinungen ist eine ziemlich reiche. Es sei hier hauptsächlich hingewiesen auf STRÜMPELL, Deutsches Archiv für klinische Medicin, Bd. 22, S. 352. (Beschreibung eines berühmt gewordenen typischen Falls.) PITRES, Des anésthésies hystériques. 1887, p. 73. GLAY, Revue philos. t. 20, 1885, p. 601. A. BINET, ebend. t. 25, 1888, p. 476. CHARLTON BASTIAN, Brain, vol. 10, 1887, p. 1 ff. PICK, Zeitschr. f. Psychol. Bd. 14, 1898, S. 261.

Beschaffenheit der unter dem Namen der »Bewegungsempfindungen« zusammengefassten Bewusstseinselemente abgeben, so lassen sich doch aus diesen meist bei hochgradigen nervösen Anomalien beobachteten Compensationen um so weniger allgemeine Schlüsse ziehen, als durchweg bei normalen Menschen die Kraft- und Lageempfindungen eine weitgehende Unabhängigkeit von begleitenden Gesichtsvorstellungen zeigen, wie dies ja überdies das Beispiel der Blinden beweist, bei denen allerdings die unabhängige Function der Tastorgane noch durch eine besondere Einübung unterstützt wird. Gleichwohl wird man zugeben müssen, dass, wenn es eine an die motorische Innervation als solche gebundene Empfindung gäbe, eine solche kaum für sich allein, isolirt von der begleitenden motorischen Innervation, alterirt oder gar aufgehoben sein könnte, während es sehr wohl denkbar ist, dass bei den vielfach so verwickelten Verhältnissen der Functionshemmung in hysterischen Zuständen die Verbindungen zwischen den gewöhnlich zusammenhängenden motorischen und sensorischen Centren (*P* und *T* Fig. 159) gehemmt sein können, während die motorischen Innervationen von andern Empfindungsgebieten her (also z. B. von den optischen) noch in Erregung versetzt werden. Psychologisch wird man daher, insofern hier Hemmungsvorgänge centraleren Ursprungs eine Rolle spielen, diese Erscheinungen als Effecte der Aufmerksamkeit deuten müssen: indem der Gesichtseindruck Hemmungen beseitigt, die der Auffassung der spontanen Bewegungen im Wege stehen, macht er in diesen Fällen die Bewegungen selbst überhaupt erst möglich[1].

Hiernach sind die innern Tastempfindungen als solche wahrscheinlich Resultanten aus Componenten von dreierlei Art: erstens aus Druckempfindungen der Gelenke und der Haut, zweitens aus Empfindungen der Muskeln und Sehnen, die in Folge der Spannung und der Contraction der Muskeln eintreten, und drittens aus centralen Mitempfindungen, welche psychologisch als reproductive Elemente zu allen zuvor genannten Empfindungen betrachtet werden können. Unter normalen Verhältnissen ist natürlich eine Trennung dieser Componenten niemals, unter abnormen ist sie immer nur in beschränktem Grade möglich. Aus den Erscheinungen bei gestörter Verbindung der Componenten und aus der Vergleichung passiver und activer Bewegungen unter normalen Verhältnissen aber scheint sich zu ergeben, dass die Empfindungen in den Muskeln und Sehnen und die ihnen entsprechenden centralen Reproductionen die Kraftempfindung constituiren, während die Lageempfindung vorzugsweise von den Gelenkempfindungen und Druckempfindungen der Haut abhängt. Alle diese Componenten scheinen

[1] Vgl. die Erörterungen über das Apperceptionscentrum, Bd. 1, Cap. VI, S. 320 ff.

aber qualitativ einander ähnlich zu sein, wodurch, ebenso wie durch ihre fortdauernde Verbindung, ihre Verschmelzung im Bewusstsein begünstigt wird.

In der älteren Physiologie wurden die inneren Tastempfindungen nicht von den äußeren unterschieden. CHARLES BELL war der Erste, der die Annahme eines specifischen Muskelsinns aufstellte, die dann durch E. H. WEBER ausgebildet, als Kraftsinn bezeichnet und von dem Tastsinn namentlich auf Grund der feineren Empfindlichkeit beim Heben von Gewichten gesondert wurde[1]. Doch hob schon J. MÜLLER hervor, dass hierbei möglicherweise auch eine die centrale Innervation begleitende Empfindung betheiligt sein könnte[2]. Eine Stütze fand diese Vermuthung in der Beobachtung der bei paralytischen und paretischen Zuständen besonders der Augenmuskeln eintretenden Täuschungen[3]. Sie schienen ebenso sehr gegen die ausschließlich periphere Quelle der Muskelempfindungen wie gegen die von einigen Philosophen aufgestellte These zu sprechen, dass wir durch die bloße Existenz unseres Willens ohne begleitende Empfindung ein Bewusstsein unserer Bewegungen besäßen[4]. Weitere Anhaltspunkte boten dann die Bewegungsstörungen dar, die bei totaler oder partieller Anästhesie sich einstellen. So wird durch Störungen der Hautempfindlichkeit bei erhaltener Bewegungsfähigkeit das Symptomenbild der sogenannten Ataxie hervorgerufen: man beobachtet es bei Thieren, denen die hinteren Wurzeln der Rückenmarksnerven durchschnitten sind[5], bei Fröschen mit enthäuteten Beinen[6], und vor allem bei Menschen mit pathologischen Sensibilitätsstörungen[7]. Diese Ataxie in Folge von Hautanästhesie besteht in einer Unsicherheit in der Ausführung der Bewegungen, ohne dass die zweckmäßige Coordination der letzteren oder auch nur die richtige Anpassung an die erstrebten Zwecke ganz aufgehoben wäre. Darum lässt sich aber auch aus diesen Erscheinungen nur folgern, dass der Hautsensibilität ein gewisser Antheil an den Bewegungsempfindungen zukommt; ob und in welchem Umfang noch andere Elemente bei diesen betheiligt seien, bleibt unsicher. In der That sind daher die betreffenden Beobachtungen in entgegengesetztem Sinne verwerthet worden. Während SCHIFF sie benutzte, um alle Bewegungsvorstellungen aus Druckempfindungen abzuleiten, schlossen W. ARNOLD[8], CL. BERNARD u. A. aus den verhältnissmäßig gut geordneten Bewegungen enthäuteter Frösche auf die Existenz eines besonderen Muskelsinns. Gegen die Annahme SCHIFFS spricht jedoch schon die oben erwähnte, von E. H. WEBER festgestellte Thatsache, dass wir durch die bloße Druckempfindung

---

[1] CH. BELL, Physiologische und pathologische Untersuchungen des Nervensystems. Uebers. von ROMBERG. 1836, S. 185 ff. E. H. WEBER, Art. Tastsinn und Gemeingefühl, S. 582.

[2] J. MÜLLER, Handbuch der Physiologie des Menschen. Bd. 2, S. 500.

[3] LANGENHAUN, Dissert. Berlin. 1858. ALBR. VON GRAEFE, Symptomatologie der Augenmuskellähmungen. 1867. WUNDT, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung. 1861, S. 400 ff. A. BAIN, The senses and the intellect[2]. 1864, p. 92.

[4] TRENDELENBURG, Logische Untersuchungen[2]. Bd. 1, S. 242. GEORGE, Lehrbuch der Psychologie. 1854, S. 231.

[5] SCHIFF, Physiologie. Bd. 1, S. 113.

[6] CL. BERNARD, Leçons sur la physiol. du syst. nerv. 1858, p. 254.

[7] LEYDEN, VIRCHOWS Archiv, Bd. 67, S. 336 ff.

[8] Ueber die Verrichtungen der Wurzeln der Rückenmarksnerven. 1844, S. 107 ff.

zwei Gewichte weniger fein unterscheiden als mittelst der hebenden Bewegung[1]. Außerdem fanden LEYDEN und BERNHARDT, dass bei Sensibilitätsstörungen der Haut die Empfindlichkeit für das Heben von Gewichten in normaler Größe fortbestehen kann[2]. Auch diese Beobachter sahen daher hierin einen Beweis für die Existenz centraler Innervationsempfindungen, um so mehr, da selbst in solchen Fällen, wo die Muskeln atrophisch geworden waren und ihre elektrische Reizbarkeit verloren hatten, noch die Wahrnehmung der Stellung und Bewegung der Glieder in einem gewissen Grade erhalten blieb[3]. Zum gleichen Ergebniss kamen BERNHARDT[4] und WALLER[5] in Versuchen an Gesunden, in denen sie die Unterschiedsempfindlichkeit für gehobene Gewichte bei willkürlicher und bei elektrischer Erregung der Muskeln verglichen. Im ersteren Fall fand sich die Unterscheidung erheblich feiner als im zweiten, doch übertraf sie auch hier noch in BERNHARDTS Versuchen die Druckempfindlichkeit der Haut, während sie WALLER ungefähr dieser gleich fand. Immerhin sind in diesen Thatsachen entscheidende Beweisgründe für eine außerhalb der Bewegungsorgane gelegene Quelle der Bewegungsempfindungen nicht enthalten, da bei der elektrischen Reizung möglicherweise die nebenhergehenden Wirkungen des elektrischen Stromes auf die Hautnerven die Unterscheidung erschweren können. In der That ergab sich aus den Beobachtungen GOLDSCHEIDERS, dass vor allem den Gelenkempfindungen sowohl bei der Auffassung der passiven wie der activen Bewegungen eine Bedeutung zukommt, die bisher fast ganz übersehen worden war, obgleich schon A. RAUBER darauf hingewiesen hatte, dass vielleicht die in großer Zahl in der Nähe der Gelenke sich findenden VATER'schen Körperchen als die wahren Substrate des sogenannten Muskelsinns anzusehen seien[6]. Theils diese Nachweise über die Gelenkempfindungen, theils die Beobachtungen jener pathologischen Fälle, in denen bei vollkommener Anästhesie der peripheren Organe die willkürlichen Bewegungen nur noch durch den Gesichtssinn einigermaßen sicher regiert werden konnten, veranlassten nun wieder viele Beobachter, nicht nur die Existenz der sogenannten Innervationsempfindungen, sondern auch die der Muskelempfindungen ganz zu bestreiten. Dabei wurden dann die auf die ersteren bezogenen Erscheinungen meist auf ein unmittelbares Bewusstsein der Bewegungen und auf den Einfluss gewisser psychischer Factoren, wie des Willens, der Aufmerksamkeit u. dgl. zurückgeführt. J. LOEB[7] suchte diese abstracte Willenstheorie, die als ein merkwürdiges Ueberlebniss speculativer Philosophie und psychologischer Vermögensbegriffe in die moderne Physiologie hineinragt, sogar experimentell zu stützen. Aus Versuchen über die Unterschiede gewollter und wirklich ausgeführter Bewegungen der Arme bei verbundenem Auge glaubte er schließen zu dürfen, die Empfindung der Größe

---

[1] Vgl. Bd. 1, Cap. IX, S. 531.
[2] LEYDEN, a. a. O. BERNHARDT, Archiv für Psychiatrie, Bd. 3, S. 618.
[3] LEYDEN, a. a. O. S. 330. BERNHARDT, a. a. O. S. 632.
[4] BERNHARDT, a. a. O. S. 629 ff.
[5] A. WALLER, Brain, vol. 14, 1891, p. 229 ff.
[6] A. RAUBER, VATER'sche Körper der Bänder- und Periostnerven und ihre Beziehung zum sogen. Muskelsinn. 1865. GOLDSCHEIDER, Ges. Abhandlungen, Bd. 2, 1898. (Archiv für Physiologie, 1887—88.) Ueber die Reizschwelle für Gelenkbewegungen siehe oben Bd. 1, S. 533.
[7] J. LOEB, PFLÜGERS Archiv, Bd. 41, S. 107 ff. Bd. 46, S. 1 ff.

und der Richtung unserer willkürlichen Bewegungen hänge nur vom Willensimpuls zur Bewegung, nicht von den bei der Bewegung im thätigen Organ ausgelösten Empfindungen ab. Seine Experimente bestanden darin, dass er die Versuchsperson eine Bewegung, deren Anfangs- und Endpunkt markirt war, längs eines auf einer Tafel gespannten Fadens mit der einen Hand ausführen und mit der andern Hand dieselbe Bewegung frei nachmachen ließ. Hierbei fand sich, dass in verticaler Richtung die nachgeahmte Bewegung nach aufwärts größer, nach abwärts kürzer war, während auf horizontale Bewegungen nicht die Höhenlage, wohl aber die seitliche Ablenkung des Armes einen ähnlichen Einfluss besaß. Da die Ergebnisse bei belastetem und unbelastetem Arm übereinstimmend ausfielen, so schloss LOEB, bei denselben übe die Anstrengung der Muskeln gar keine, ihre Verkürzung oder Verlängerung aber die entscheidende Wirkung aus, indem ihre Reizbarkeit mit der Verkürzung ab- und mit der Verlängerung zunehme. Nun wurde bei diesen Versuchen die Winkeldrehung des Armes jedesmal in eine geradlinige Bewegung umgewandelt, sei es, dass man jene auf eine ebene Tafel projicirte, sei es, dass eine mit ihrem Umfang wachsende Streckung hinzukam[1]. Unter beiden Bedingungen wird aber nicht eine einfache Drehbewegung des Armes gemessen, sondern im ersten Fall eine geometrische Projection derselben, im zweiten eine Resultante aus ihr und einer anderen hinzukommenden Bewegung[2]. Sucht man diesen Fehler zu vermeiden, indem man, unter möglichster Beschränkung der Bewegungen auf ein Gelenk, also z. B. auf das Oberarmgelenk, die Winkelbewegungen direct registrirt, so bestätigen sich jedoch LOEBS Resultate nicht, sondern die Fehler schwanken bei Bewegungen verschiedenen Umfangs und verschiedener Richtung immer innerhalb derselben Grenzen. Zugleich zeigt sich, dass bei langsameren Bewegungen, wie leicht begreiflich, im allgemeinen die Neigung zur Ueberschätzung, bei schnelleren die zur Unterschätzung überwiegt[3].

Neben dem Willensimpuls hat man zuweilen auch die Dauer der Bewegung als einen für die Auffassung derselben maßgebenden psychologischen Factor betrachtet. Hiernach sollen wir den Umfang einer Bewegung nach der Größe der dazu gebrauchten Zeit abschätzen[4]. Doch fanden CATTELL und FULLERTON[5] in Versuchen, in denen sie die Schätzung der Unterschiede gehobener Gewichte und der Zeiten der Erhebung unmittelbar verglichen, dass beide Schätzungen einen ganz verschiedenen Verlauf darbieten, und dass die Zeitunterschiede der Erhebung viel genauer aufgefasst werden als die

---

[1] Letzteres Verfahren scheint nach seiner Beschreibung der Verf. bei der Herstellung der Vergleichsstrecken in den früheren Versuchen (PFLÜGERS Archiv, Bd. 41, S. 109), ersteres bei den späteren (ebend. Bd. 46, S. 6 f.) eingeschlagen zu haben

[2] Letzteres ist auch bei den Versuchen von MAX FALK (Versuche über die Raumschätzung mit Hülfe von Armbewegungen. Dissert. Dorpat. 1890) und von DELABARRE (Ueber Bewegungsempfindungen. 1891, S. 101) der Fall, bei denen Normal- wie Vergleichsstrecke durch die Fortschiebung eines auf Schienen laufenden Wagens hergestellt wurden.

[3] Näheres über diese von O. KÜLPE und A. SEGSWORTH ausgeführten Versuche vgl. in der 4. Aufl. dieses Werkes, Bd. 1, S. 429.

[4] FERRIER (Functionen des Gehirns, S. 246) wurde durch die langsamen Bewegungen paretischer Patienten auf diese Vermuthung geführt; G. E. MÜLLER (PFLÜGERS Archiv, Bd. 45, S. 37) umgekehrt durch das schnelle Tempo, in welchem Gewichte gehoben werden, die man sich zuvor größer vorgestellt hat.

[5] FULLERTON and CATTELL, On the Perception of small differences. 1892, p. 103 ff.

Gewichtsunterschiede. Dabei schließt natürlich diese Selbständigkeit beider Factoren der Bewegungsvorstellung einen gelegentlichen Einfluss des einen auf den andern in Folge der sich bildenden Associationen zwischen ihnen nicht aus. So sind wir z. B. geneigt den Umfang einer langsamen Bewegung und die Größe eines langsam gehobenen Gewichtes relativ zu überschätzen, den Umfang einer schnellen Bewegung und die Größe eines rasch gehobenen Gewichtes dagegen zu unterschätzen, weil wir in der Regel kleine Gewichte schneller als große heben, und weil wir zu größeren Bewegungen längere Zeit als zu kleineren nöthig haben. Wie dieser Einfluss geläufiger Associationen ein secundärer ist, der mit den directen Componenten der Bewegungsempfindung nichts zu thun hat, so auch der Einfluss der Erwartung oder der von Müller und Schumann sogenannten »Einstellung«. Wir unterschätzen bekanntlich unerwartet kleine, und wir überschätzen unerwartet große Reize. (Vgl. oben S. 23.) Diese Erscheinungen sowie die mit ihnen nahe zusammenhängenden des durch Gesichtseindrücke erweckten Erwartungscontrastes sind von großem Interesse für die Theorie der Aufmerksamkeit, wo sie uns näher beschäftigen werden (Abschn. V), rücksichtlich der Componenten der Bewegungsempfindungen lassen sie aber keine Schlüsse zu.

Dass bei der Regulirung unserer Körperbewegungen centrale Componenten der Kraft- und Lageempfindungen eine wichtige Rolle spielen, scheint mir nun angesichts der Fälle pathologischer Bewegungsstörungen, die auf andere Weise nicht oder nur unter Zuhülfenahme völlig aus der Luft gegriffener psychologischer Hülfskräfte erklärt werden können, unabweislich. Nicht minder dürften aber die oben angeführten allgemeinen Gründe vielmehr dafür sprechen, sie als sensorische Miterregungen und Mitempfindungen, nicht als Innervationsempfindungen zu deuten[1]. Namentlich sind in dieser Beziehung die am genauesten untersuchten Localisationsstörungen bei Paralyse oder Parese der Augenmuskeln von entscheidender Bedeutung. Wenn daher z. B. Ferrier, dem darin manche Andere gefolgt sind, die Empfindungen, welche die Willensanstrengungen paralytischer Kranker begleiten, aus den unwillkürlichen Mitbewegungen ungelähmter Theile ableitet, die besonders stark bei fruchtlosen Willensanstrengungen einzutreten pflegen[2], so ist zuzugeben, dass in solchen Mitbewegungen ein Theil des Complexes von Empfindungen seine Quelle haben mag; aber zur Erklärung der Täuschungen bei der Parese reichen sie nicht aus. Dies zeigen in schlagendster Weise die oben eingehend erörterten Sehstörungen bei der Paralyse oder Parese des Abducens. Wenn trotzdem manche Psychologen diese Störungen aus Mitbewegungen des gesunden Auges erklären

---

[1] Als »central ausgelöste Reproductionen der Bewegungsempfindungen« habe ich sie daher schon in der 3. Aufl. dieses Werkes bezeichnet (Bd. 1, S. 404); ebenso gleichzeitig und unabhängig davon Münsterberg (Die Willenshandlung, 1888, S. 145). L. Kerschner hat den Schwierigkeiten der Annahme von Innervationsempfindungen dadurch zu begegnen gesucht, dass er dieselben auf eine Reizwirkung zurückführte, welche die Erregung der motorischen Nerven im Muskel auf die sensibeln Nervenendigungen in demselben ausübe (Ber. des naturw.-med. Vereins in Innsbruck, 1896—97). Aber wenn sich daraus auch die Entstehung von Bewegungsempfindungen bei Gesunden ohne wirkliche Contraction des Muskels begreifen ließe, so gilt das doch nicht für die Empfindungen der Paralytiker, bei denen die motorische Erregung überhaupt nicht zu den Muskeln gelangt.

[2] Ferrier, a. a. O. S. 247.

wollen[1], so beruht dies augenscheinlich auf unzulänglicher Kenntniss der Thatsachen. Der einzige Weg, wenn man die centralen Empfindungscomponenten vermeiden wollte, würde hier der sein, mit HERING und den ihm folgenden Ophthalmologen anzunehmen, dass in solchen Fällen nicht irgend welche Empfindungen die Localisation der Lichteindrücke bestimmen, sondern der »Aufmerksamkeitsort« oder der »Wille, die Sehdinge an einer bestimmten Stelle des Raumes zu sehen«[2]. Dass diese Annahme psychologisch unmöglich ist, sollte sich doch wohl von selbst verstehen.

Augenscheinlich hat, abgesehen von dem Zusammenhang der zuletzt erwähnten Annahme mit den später (in Cap. XIV) zu erörternden Raumtheorien, das Streben, allen inneren Tastempfindungen eine möglichst einfache Grundlage zu geben, vieles zur Aufstellung solcher unhaltbarer Hülfshypothesen beigetragen. Auch macht es gerade die verwickelte Natur der hier vorliegenden Empfindungscomplexe begreiflich, dass die Störungen, die in Folge centraler Functionslähmungen auftreten, ein außerordentlich mannigfaltiges Bild darbieten können. Dazu kommt der Umstand, dass namentlich die centralen Componenten wohl je nach individuellen Bedingungen einen verschiedengradigen Einfluss ausüben, wie dies die verschiedene Deutlichkeit, mit der Amputirte ihre Empfindungen in die verlorenen Glieder verlegen, wahrscheinlich macht. Legt man es darauf an, zu beweisen, dass irgend einer der muthmaßlich betheiligten Factoren der allein wirksame sei, so ist es daher, besonders wenn man noch die hysterischen Lähmungen zu Hülfe nimmt, nicht allzu schwer, durch passende Auswahl aus den klinischen Berichten ein Beweismaterial zu stande zu bringen. Richtiger wird freilich die Aufgabe gestellt sein, wenn man sie so zu lösen sucht, dass sich aus ihr die sämmtlichen Thatsachen der normalen und der pathologischen Erfahrung widerspruchslos ableiten lassen. Da nun in Wirklichkeit unsere Bewegungsvorstellungen stets durch Association vieler Empfindungen bestimmt werden, so ist es im allgemeinen begreiflich, dass unter gewissen Bedingungen die Ausschaltung *einer* der Componenten die nämlichen Effecte herbeiführen kann, wie die Beseitigung des ganzen Complexes. Gerade darum ist es aber falsch, bei der Beurtheilung pathologischer Erfahrungen bloß das methodologische Princip der *Ausschaltung* zu befolgen, und dagegen das Princip des *directen Einflusses* zu vernachlässigen. Wird durch die Herausnahme eines einzigen Gliedes aus einer Kette physiologischer Ursachen eine Function aufgehoben, so beweist dies im allgemeinen, dass das herausgenommene Glied nothwendig, aber es beweist nicht, dass es das einzige sei. Berücksichtigt man alle Momente, so wird nun von vornherein schon durch die physiologische Beschaffenheit der Bewegungsorgane die Annahme einer *complexen* Natur der an die Bewegung gebundenen Empfindungen wahrscheinlich. Die Haut, die Gelenke, die Muskeln sind sämmtlich empfindungsfähig, und ihre Empfindungen können sämmtlich peripher und central erzeugt werden. Es wäre daher geradezu wunderbar zu nennen, wenn von diesen bei der Bewegung erregten Empfindungen nur *eine* einen Einfluss besäße, oder wenn statt ihrer irgend eine aus ihrem Verlauf resultirende Vorstellung, wie die der

---

[1] JAMES, Psychology, vol. 2, p. 506. EBBINGHAUS, Grundzüge der Psychologie, Bd. 1, 1902, S. 361.

[2] HERING, HERMANNS Handbuch der Physiologie, Bd. 3, I, S. 535.

Zeitdauer der Bewegung, oder gar ein abstractes »Seelenvermögen«, wie der Wille oder die Aufmerksamkeit, diesen Effect hervorbrächte. Gegen den Versuch, alle Bewegungsempfindungen auf Gelenkempfindungen zu reduciren, ist speciell noch zu bemerken, dass die zweifellos vorhandenen subjectiven Unterschiede der Empfindung bei activer und bei passiver Bewegung für eine Betheiligung der Muskelempfindungen bei der ersteren in die Schranken treten. Wenn, wie GOLDSCHEIDER fand, active und passive Bewegung die gleiche Unterschiedsempfindlichkeit zeigen, so bildet dies keinen Gegenbeweis: denn es folgt daraus nur, dass der Umfang der Bewegung jedesmal nach den Gelenkempfindungen geschätzt wird. Davon bleibt aber der subjective Unterschied beider Bewegungsempfindungen unberührt. Dass übrigens die Muskeln gegen mechanische Reize empfindlich sind, zeigte C. SACHS[1], indem er bei Fröschen nach Strychninvergiftung durch directe Reizung der Muskeln Reflexkrämpfe auslöste. Auch fanden sich nach der Durchschneidung der hinteren Nervenwurzeln des Rückenmarks degenerirte Fasern in ihnen, während umgekehrt nach der Durchschneidung der motorischen Wurzeln nicht alle im Muskel enthaltenen Nervenfasern degenerirten. Wahrscheinlich gehören diese sensibeln Fasern allerdings nicht der eigentlichen Muskelsubstanz, sondern den bindegewebigen Theilen des Muskels an. Endlich fand GOLDSCHEIDER[2] selbst, dass, wenn beim Menschen die einen Muskel bedeckende Haut durch Cocaininjection anästhetisch gemacht ist, stärkere durch den elektrischen Strom erregte Contractionen noch empfunden und in der Tiefe localisirt werden. Auf eine Betheiligung mehrerer Factoren an dem Zustandekommen der Bewegungsempfindungen lassen endlich noch die von A. WALLER[3] beobachteten Ermüdungserscheinungen schließen. Wird von einer Muskelgruppe so lange eine bestimmte Bewegung willkürlich ausgeführt, bis starke Ermüdung eingetreten ist, und wird dann die nämliche Muskelgruppe während einiger Zeit durch maximale elektrische Reize erregt, so fallen die nach dieser elektrischen Reizungsperiode wieder einsetzenden willkürlichen Zusammenziehungen stärker aus als die vorangegangenen letzten Willenserregungen gewesen waren: während der elektrischen Reizung ist also in einem gewissen Grad Erholung für den Willensreiz eingetreten. Ebenso kann, wie die Umkehrung der Versuche zeigt, während einer Reihe willkürlicher Contractionen eine Erholung für die elektrische Reizung eintreten. Daraus ist jedenfalls zu schließen, dass die Ermüdung nicht bloß ein peripherer Process ist, sondern dass sie zugleich auf Veränderungen in den Innervationscentren der Muskeln beruht. Dagegen ist es wohl nicht gerechtfertigt, wenn WALLER selbst auf Grund dieses Ergebnisses wieder zu der Annahme unmittelbarer Innervationsempfindungen zurückkehrt, da eine Verbindung der motorischen und sensorischen Centren, wie sie die Fig. 159 schematisch veranschaulicht, hier dasselbe leistet, während sie mit den in neuerer Zeit gewonnenen Aufschlüssen über die morphologischen Substrate der Leitungsrichtungen und über die Existenz centrifugal-sensorischer Leitungsbahnen (Bd. 1, S. 187 u. a.) mehr übereinstimmt.

---

[1] C. SACHS, Archiv für Anatomie und Physiologie, 1874, S. 175, 491, 645.

[2] GOLDSCHEIDER, Zeitschrift für klin. Medicin, Bd. 15, S. 109.

[3] A. WALLER, The Sense of Effort. Brain, vol. 14, 1891, p. 179. vol. 15, 1892, p. 380.

f. Die Gemeinempfindungen.

Rechnen wir, der oben (S. 2) aufgestellten Begriffsbestimmung gemäß, zur Classe der Gemeinempfindungen alle Empfindungen, die einen ausschließlich subjectiven Charakter bewahren und dadurch wesentliche Attribute des Gemeingefühls bilden, so sind zunächst von Seiten des Tastsinnes hierher zu zählen das Kitzeln, Schaudern, Jucken, Kriebeln, die Empfindung der Muskelermüdung u. s. w. Jede dieser Empfindungen hat ihre eigenthümliche qualitative Beschaffenheit, wenn sich auch eine Verwandtschaft mit bestimmten Druck- oder Temperaturempfindungen meist nicht verkennen lässt. Doch dürfte diese zum Theil darauf beruhen, dass bestimmte Tastreize mit den Druck- und Temperaturempfindungen zugleich Gemeinempfindungen auslösen, der schwache Druck eines weichen Körpers z. B. die Kitzelempfindung, der Kältereiz die Schauderempfindung u. dergl. Dies weist schon darauf hin, dass die Gemeinempfindungen auch in solchen Fällen, wo sie in einem bestimmten Sinnesorgan zu entstehen scheinen, dennoch eine von den gewöhnlichen Sinnesempfindungen verschiedene Quelle haben. In der That bemerken wir, dass eine Empfindung immer dann zu dem Gemeingefühl in nähere Beziehung tritt, wenn sie von mehr oder weniger ausgebreiteten Mitempfindungen begleitet ist. So scheinen die Empfindungen des Kitzelns, Juckens, Ameisenlaufens u. s. w. wesentlich darauf zu beruhen, dass eine beschränkte, meistens sehr schwache Tastempfindung bald sich über eine größere Hautfläche ausbreitet, bald an ganz entlegenen Stellen ähnliche schwache Tastempfindungen hervorruft. Jede einzelne dieser Empfindungen würde als eine bloße Tastempfindung anzusprechen sein, sie alle zusammen constituiren aber eine Gemeinempfindung. Auch von andern Sinnen, namentlich von dem Gehörssinne aus, können derartige Gemeinempfindungen des Tastorgans angeregt werden. So bewirken sägende und klirrende Geräusche oder der Anblick gewisser Hautverletzungen bei den meisten Menschen in geringem und bei manchen in heftigem Grade eine kriebelnde Hautempfindung, an der man deutlich eine successive Ausbreitung bemerken kann. In vielen Fällen sind zugleich Muskelempfindungen betheiligt; namentlich bilden diese einen wesentlichen Bestandtheil bei jener Empfindung des Schauderns, welche plötzlichen Kälteeinwirkungen und nicht selten auch andern Sinneseindrücken folgt. Die Ausbreitung der Erregungen geschieht hierbei im allgemeinen auf dem Wege des Reflexes, so dass bei den Gemeinempfindungen in der Regel wohl Reflexempfindungen mitwirken, mögen diese nun, wie bei den Mitempfindungen, direct durch Uebertragung von sensibeln auf sensible Fasern, oder indirect durch das Mittelglied von Reflexbewegungen zu stande kommen. Hieraus geht

hervor, dass in den peripheren Nervenausbreitungen nur die nächste Gelegenheitsursache der Gemeinempfindungen, ihre eigentliche Quelle aber in den Nervencentren liegt, nach deren Zuständen sich daher auch erfahrungsgemäß das Verhalten dieser Empfindungen vorzugsweise richtet. Selbst die Ermüdungsempfindung der Muskeln zeigt diese Eigenschaft der Ausbreitung und charakterisirt sich dadurch als eine Gemeinempfindung: an der starken Ermüdung eines einzelnen Gliedes betheiligen sich die übrigen Muskeln des Körpers durch eine schwächere Empfindung von gleicher Beschaffenheit. Wahrscheinlich handelt es sich hier sogar nur um eine periphere Projection von Empfindungen, deren eigentlicher Sitz ein centraler ist. Denn jene sympathische Ermüdung ist aus den Zuständen der Muskeln selbst nicht zu erklären; sie erklärt sich aber leicht, wenn man erwägt, dass an dem durch eine einzelne Muskelgruppe geleisteten Kraftverbrauch das Centralorgan mit seinem Energievorrath betheiligt ist. Aehnlich verhält es sich mit allen jenen Gemeinempfindungen, die für die Regulation gewisser Lebensvorgänge von Bedeutung sind: so mit den Hunger- und Durstempfindungen, der Empfindung des Luftmangels von den mäßigen Graden normalen Athembedürfnisses an bis zur intensivsten Athemnoth. Sie alle sind nur zum Theil von den peripheren Organen abhängig, in denen sie localisirt werden; sie sind aber gebunden an bestimmte Zustände der Blutmischung, von denen wir annehmen müssen, dass sie in den zugehörigen Nervencentren Erregungen auslösen, die theils unwillkürliche Bewegungen, theils Empfindungen und durch sie Bewegungen hervorrufen, die zu den betreffenden Functionen in Beziehung stehen.

Eine hervorragende Classe der Gemeinempfindungen bilden endlich die Schmerzempfindungen. Jede Gemeinempfindung und jede gewöhnliche Sinnesempfindung wird, wenn sie eine bestimmte Stärke erreicht, zum Schmerze. Dieser zeigt daher sehr mannigfache qualitative Formen und Färbungen. Es gibt schmerzhafte Tasteindrücke, Geräusche und Lichtreize; ebenso zeigt der Schmerz der innern Organe locale Verschiedenheiten, die unter den Bezeichnungen brennend, stechend, reißend, bohrend u. dergl. in der Pathognomonik der Organe eine gewisse Rolle spielen. Anderseits besitzt aber freilich der Schmerz, von welchem Theil er auch ausgehen möge, einen übereinstimmenden Charakter, so dass selbst bei den eigentlichen Sinnesempfindungen die specifischen Unterschiede um so mehr sich ausgleichen, je mehr sie sich der Schmerzgrenze nähern. Es scheint daher, dass nicht sowohl die Schmerzempfindung selbst, als ihre Intensität, ihre Ausbreitung und ihr zeitlicher Verlauf jene charakteristischen Unterschiede bedingen. So nennen wir einen Schmerz stechend, wenn er räumlich beschränkt ist und plötzlich eine große

Intensität erreicht, brennend, wenn er in gleichförmiger Stärke über eine größere Fläche sich ausbreitet, reißend, wenn er allmählich zu seinem Maximum anwächst, bohrend, wenn er zwischen gewissen Grenzen der Intensität hin- und herschwankt. Die Gleichartigkeit des Schmerzes erklärt sich wohl daraus, dass er überall in Erregungsvorgängen der Empfindungsnerven selbst, nicht besonderer Endapparate derselben seine periphere Quelle hat, worauf auch die gleichförmige Verbreitung der Schmerzempfindlichkeit über das ganze Tastorgan und über die sensibeln Nerven hinweist. Die große Intensität des Schmerzes dagegen, mit der zugleich der später (in Cap. XI) zu besprechende intensive Gefühlswerth desselben zusammenhängt, ist wahrscheinlich durch die umfangreiche Ausbreitung des Reizungsvorganges in der centralen grauen Substanz bedingt. Bei dem Schmerz der innern Organe dürfte überdies die geringere Reizbarkeit der sympathischen Nervenfasern insofern eine Rolle spielen, als in denselben in der Regel erst dann merkliche Empfindungen entstehen, wenn der Reiz die Schmerzgrenze erreicht hat[1].

Die weiteren Eigenthümlichkeiten der Schmerzempfindung erklären sich zumeist aus dem centralen Sitz der Erregungen. Hierher gehört vor allem die Ausstrahlung der Empfindung in zahlreichen Mitempfindungen, die im allgemeinen mit der Stärke des Schmerzes zunimmt und das empfindende Subject vollständig über den Sitz des Schmerzes täuschen kann; ferner die langsame Entstehung und Leitung der Schmerzerregungen. Es ist bekannt, dass bei Verwundungen der Haut oder anderer sensibler Theile zuerst nur ein Tasteindruck empfunden wird, dem dann merklich später, allmählich wachsend und sich ausbreitend, die Schmerzempfindung nachfolgt. Diese Unterschiede sind, wie G. BURCKHARDT[2] fand, schon unter normalen Verhältnissen nachzuweisen. Noch entschiedener treten sie aber bei gewissen Erkrankungen des Rückenmarks hervor, welche mit Erschwerungen der Leitung verbunden sind. Wenn man solchen Kranken Nadelstiche applicirt, so empfinden sie anscheinend momentan die Berührung, während der Schmerz erst nach 1—2 Secunden percipirt wird[3]. Einen Grenzfall dieses Verhaltens bildet die nicht selten bei hysterischen Kranken und in hypnotischen Zuständen beobachtete Erscheinung,

---

[1] Z. OPPENHEIMER, Schmerz und Temperaturempfindung. 1893, S. 125 ff.

[2] G. BURCKHARDT, Die physiologische Diagnostik der Nervenkrankheiten. 1875, S. 79 ff.

[3] OSTHOFF, Die Verlangsamung der Schmerzempfindung bei Tabes dorsalis. Dissert. Erlangen. 1874. LEYDEN, Klinik der Rückenmarkskrankheiten. ZIEMSSENS Handbuch der Pathologie, Bd. 11, S. 2. In seltenen Fällen ist auch das Gegentheil beobachtet worden, nämlich langsamere Leitung der Tast- als der Schmerzeindrücke. Es dürfte sich hierbei vielleicht um pathologische Zustände des Rückenmarks handeln, die den der Strychninvergiftung folgenden ähnlich sind. Auch bei der letzteren beobachtet man enorme Unterschiede der Leitungsgeschwindigkeit für schwache und starke Reize. Siehe Bd. 1, S. 84 und meine Untersuchungen zur Mechanik der Nerven, Bd. 2, S. 70 ff.

dass überhaupt nur die Tastempfindung entsteht, die Schmerzempfindung aber ausbleibt, ein Zustand, der ähnlich auch durch die anästhetischen Betäubungsmittel oder bei Thieren auf vivisectorischem Wege durch die Trennung der grauen Rückenmarkssubstanz bei Erhaltung der weißen Markstränge herbeigeführt werden kann[1]. Unter diesen Umständen ist es begreiflich, dass die pathologische Beobachtung den Mangel der Schmerzempfindung geradezu als ein Symptom aufzufassen pflegt, das auf centrale Störungen schließen lasse[2]. Zugleich wird hierdurch die allmähliche Steigerung und Ausbreitung des Schmerzes, ohne dass doch der periphere Reiz eine Veränderung erfährt, erklärlich. Denn diese Thatsache fügt sich vollständig den normalen Erscheinungen der Summation der Erregungen und der Steigerung der Erregbarkeit (Bd. 1, S. 94 f.). Je mehr aber solche Erscheinungen auf allgemeinen Eigenschaften der centralen Substanz beruhen, um so weniger rechtfertigen sie die zuweilen aufgetauchte Hypothese eines specifischen Schmerzcentrums[3], oder auch nur die Annahme, dass für die Schmerzreize eigenthümliche, von den sonstigen sensibeln Nerven durchgehends getrennte Leitungswege existiren[4]. Denn die Erscheinungen der längeren Latenzzeit, der langsameren Leitung, der weiteren Ausbreitung der Erregungen, durch welche sich die Schmerzempfindungen auszeichnen, lassen sich unschwer aus der Voraussetzung erklären, dass die Schmerzreize mehr als andere Reize die Eigenschaft besitzen, die Leitungsbahnen durch die graue Substanz des Rückenmarks einzuschlagen, während die tactilen Erregungen vorzugsweise in den weißen Marksträngen geleitet werden. Alle jene Eigenschaften der Schmerzerregung erinnern in der That unmittelbar an die Erregbarkeitsverhältnisse der centralen Substanz (Bd. 1, S. 79 ff.). Es ist aber an und für sich viel wahrscheinlicher, dass die Schmerzerregung theils vermöge ihrer Intensität theils vielleicht auch wegen der ihr schon bei der peripheren Entstehung eignen extensiven Ausbreitung über ein größeres Fibrillennetz vorzugsweise den Weg durch die graue Substanz nimmt, als dass dies in Folge der Existenz einer besonderen, im übrigen anatomisch nicht nachzuweisenden Gattung von Schmerzfasern geschehen sollte[5].

---

[1] Vgl. Bd. 1, S. 156.

[2] Richet, Recherches sur la sensibilité, 1877, p. 284. Revue philos. t. 4, 1877, p. 457. Raymond et Pierre Janet, Névrose et idées fixes. (Travaux de la Salpêtrière, II.) 1898, s. v. douleur.

[3] Richet, a. a. O. p. 296.

[4] Schiff, Physiologie, Bd. 1, S. 251 ff. Pflügers Archiv, Bd. 28, 29, S. 357. Bd. 30, S. 199 ff. Goldscheider, Ges. Abhandl. Bd. 1, S. 391.

[5] Vgl. über diese Verhältnisse sowie über die hier einschlagenden Anomalien der Schmerzempfindung (Analgesie, Hyperästhesie) und die bei ihnen wahrscheinlich vorkommenden Leitungsverhältnisse die 4. Aufl. dieses Werkes, Bd. 1, S. 108 ff.

2. Geruchs- und Geschmacksempfindungen.

a. Geruchsempfindungen.

Die Untersuchung der Empfindungen der beiden chemischen Sinne bietet deshalb Schwierigkeiten, weil Geschmacks- und Geruchseindrücke in der Regel zusammen einwirken und zu complexen Vorstellungen verschmelzen, aus denen nur die Geschmacksempfindungen durch Ausschaltung des Geruchsorgans mit Sicherheit gesondert werden können. Dazu kommt, dass sich die Geschmacksempfindungen immer, die Geruchsempfindungen wenigstens zuweilen mit Erregungen der Tastnerven der Zunge und der Nasenschleimhaut verbinden. Von beiden Sinnesgebieten ist aber das des Geruchssinns das weitaus mannigfaltigere. Es umfasst eine fast unabsehbare Menge wohl unterscheidbarer Qualitäten, die nur einen sehr unvollkommenen Ausdruck in den Bezeichnungen der Sprache gefunden haben, da diese meist nur größere Gruppen von Geruchsqualitäten von einander scheidet, indem sie dieselben in der Regel nach einzelnen riechenden Substanzen benennt, die als Hauptrepräsentanten der betreffenden Empfindungen gelten.

Die Geruchsorgane des Menschen und wohl auch die aller andern Luftthiere können wahrscheinlich bloß durch Gase oder Dämpfe erregt werden. Alle Gase und Dämpfe aber, mit Ausnahme der atmosphärischen Luft und ihrer beiden Hauptbestandtheile, Sauerstoff und Stickstoff, scheinen als Geruchsreize zu wirken. Auch der Wasserdampf z. B., der in geringen Mengen nicht riecht, zeigt in größeren einen deutlichen Geruch. Dagegen ist es zweifelhaft, ob Geruchsreize empfunden werden, wenn sie nicht in gas- oder dampfförmigem, sondern in flüssigem Zustand mit der Nasenschleimhaut in Berührung kommen[1]. Doch bestehen offenbar in dieser Beziehung in der Reizbarkeit des Riechepithels wesentliche Unterschiede zwischen den in der Luft und den im Wasser lebenden Thieren, da die meisten Fische hoch ausgebildete Geruchsorgane besitzen, während ihnen doch die Riechstoffe nur in wässeriger Lösung zugeführt werden können. Wenn anderseits die im Meere lebenden Säugethiere, die Cetaceen, den Geruchssinn völlig eingebüßt haben, so mag dies darauf beruhen, dass ursprünglich die Geruchsorgane dieser Thiere

[1] E. H. Weber, Tastsinn und Gemeingefühl, S. 499. von Vintschgau, Hermanns Physiologie, Bd. 3. 2, S. 257 f. Im Gegensatz zu diesen Angaben fand allerdings Aronsohn (Archiv für Physiologie, 1886, S. 321 ff.), dass Geruchsstoffe wirkten, wenn sie in verdünnter Kochsalzlösung mit der Nasenschleimhaut in Berührung kamen. Aber da alle Geruchsstoffe verdampfbar sind, so bleibt der Einwand möglich, dass bei seinen Versuchen Dämpfe der Flüssigkeit in den Riechraum eindrangen.

ebenfalls, wie die aller andern Säugethiere, auf Luftathmung eingerichtet waren.

An eine Classification der Geruchsqualitäten ist bei unserer mangelhaften Kenntniss ihrer wechselseitigen Beziehungen nicht zu denken. Man kann höchstens versuchen, die riechenden Substanzen nach der Aehnlichkeit der Gerüche, die sie erzeugen, in gewisse Gruppen zu bringen, von denen eine jede die Gerüche von verwandter Qualität enthält. So unterscheidet ZWAARDEMAKER neun Gruppen, nämlich: 1) ätherische, 2) aromatische, 3) balsamische, 4) ambrosische (Amber-Moschus), 5) lauchartige (Allyl-Cacodyl), 6) brenzliche, 7) bockähnliche (Capryl), 8) widerliche, 9) ekelhafte Gerüche[1]. Diese Eintheilung zeigt nun im allgemeinen, dass chemisch verwandte Stoffe auch ähnliche Gerüche hervorbringen. Die auffallendsten Ausnahmen, die dieser Satz erleidet, sind wahrscheinlich durch Vermischung der Geruchs- mit Geschmacksempfindungen oder mit Reizungen der sensibeln Tastnerven der Nasenschleimhaut verursacht. So ist von dem süßlich-fauligen Geruch des Schwefelwasserstoffs nur das Faulige Geruch, das Süßliche aber Geschmacksempfindung. Aehnlich gehören Chloroform und Aether als Gerüche zur ätherischen Gruppe (1), daneben aber wirkt das Chloroform als süßer, der Aether als bitterer Geschmacksstoff, und beide können überdies auf die Tastnerven, entweder in Folge ihrer Verdunstung als Kältereize oder durch directe Erregung als Schmerzreize, einwirken[2]. Ferner wird überall, wo wir die Bezeichnung stechend für einen Geruch gebrauchen, die Vermengung mit einer Empfindung der Tastnerven anzunehmen sein: so z. B. bei der Einwirkung des Ammoniak und der Kohlensäure. In solchen Fällen kann sich die eigentliche Geruchsempfindung sehr verschieden verhalten, sie wird jedoch, namentlich wenn sie schwach ist, durch die begleitende Tastempfindung zurückgedrängt. Diese letztere ist es auch, die je nach ihrer Intensität in verschiedenem Grade die Reflexbewegung des Niesens auslöst, wodurch sich dann noch eine Muskelempfindung mit den übrigen Elementen complicirt. So sind auch unter den oben unterschiedenen Gruppen

---

[1] ZWAARDEMAKER, Die Physiologie des Geruchs. 1895. S. 216. Vgl. ebend. die ältere ziemlich reiche Litteratur über den Gegenstand S. 207 ff. Sieben unter den von ZWAARDEMAKER unterschiedenen Classen sind schon von LINNÉ aufgestellt, nur 1 und 6 hat er späteren Autoren (LORRY und HALLER) entnommen. Eine Classification der Gerüche nach rein psychologischen Gesichtspunkten hat GIESSLER (Wegweiser zu einer Psychologie des Geruchs. 1894) zu geben gesucht, indem er theils die Reflexbewegungen, theils die Gefühle und Affecte in Betracht zog, die an die Empfindungen gebunden sind. Da es sich aber hierbei überall um secundäre Wirkungen oder Begleiterscheinungen der Empfindungen handelt, so bieten die Beobachtungen GIESSLERS zwar manches was für die Gefühlswirkungen der Gerüche von Interesse ist, zu einer Classification der reinen Geruchsempfindungen aber, bei der gerade von solchen Gefühlsmomenten möglichst abstrahirt werden muss, eignen sie sich nicht.

[2] ROLLETT, PFLÜGERS Archiv für Physiologie, Bd. 74, 1899, S. 383 ff.

ZWAARDEMAKERs die beiden letzten, die widerlichen und ekelhaften Gerüche, jedenfalls keine reinen Geruchs-, sondern zum größeren Theil Gemeinempfindungen, und zwar wahrscheinlich Muskelempfindungen, die in Folge ausgelöster Reflexe entstehen; ob nach Abzug dieser Bestandtheile noch eine specifische Geruchsempfindung übrig bleiben würde, ist zweifelhaft. Anderseits ist es freilich nicht minder fraglich, ob die oben aufgezählten neun Gruppen alle wirklich unterscheidbaren Geruchsqualitäten umfassen.

Gegenüber dem Tast- und Geschmackssinn zeichnet sich der normale Geruchssinn des Menschen durch eine sehr große Empfindungsschärfe, namentlich gegenüber gewissen Geruchsstoffen organischen Ursprungs, aus. Dies ist um so bemerkenswerther, weil einerseits die Regio olfactoria der Nasenschleimhaut einen sehr geringen Raum einnimmt: das in Fig. 129, S. 404 (Bd. 1) dargestellte Riechepithel erstreckt sich nicht weiter als über eine 10—12 mm im Durchmesser umfassende Fläche im obersten Bezirk der oberen Nasenmuschel, also in größter Entfernung vom Naseneingang, so dass beim gewöhnlichen Einathmen nur sehr kleine Antheile der Inspirationsluft bis zu dieser Region diffundiren können. Dem gegenüber erscheint nun die Riechschwelle als eine außerordentlich niedrige, namentlich gegenüber gewissen wenig verdunstbaren organischen Substanzen, wie Campher, Moschus, Mercaptan. So fand PASSY[1], wenn man als Werthe der Reizschwelle diejenige Gewichtsgröße einer Substanz in Tausendtheilen eines Milligr. ansetzt, die in 1 Liter Luft vertheilt eben empfindbar ist, folgende Schwellenwerthe:

Orangenessenz	0,5—4	Cumarin	50—10
Wintergrünessenz	0,5—4	Vanillin	50—0,5
Rosmarin	0,05—2	Natürl. Moschus	10
Aether	0,5—5	Künstl. Moschus	0,01—0,005
Folia menthae	0,005—0,05	Mercaptan (C_2H_5SH)	0,00004 (nach FISCHER und PENZOLDT).
Campher	5000		
Citral	500—100		

Diese Reizempfindlichkeit ist um so auffallender, als das Geruchsorgan des Menschen im Vergleich mit dem vieler Thiere wenig entwickelt ist (Bd. 1, S. 126). Freilich ist zugleich zu erwägen, dass dabei zunächst nur die Vergleichung mit dem Geschmackssinn in Betracht kommt, während die photochemischen Zersetzungen durch Lichtreize wahrscheinlich noch sehr viel geringere chemische Energiegrößen darstellen. Zu beachten ist ferner, dass zu den wirksamsten Geruchsstoffen solche gehören, die eine sehr geringe Verdunstungsgröße besitzen, während sie zugleich von hohem Moleculargewicht und schwer zersetzbar sind, so dass sie an

[1] PASSY, Comptes rend. de la soc. de Biologie, 1892, p. 84, 137.

ihren Trägern außerordentlich lange und innig festhaften (Moschus, Mercaptan u. ähnl.). Neben diesen abweichenden Verhältnissen der Reizschwelle und der Tenacität bieten endlich die verschiedenen Gerüche auch noch in der Intensität der Empfindung erhebliche Unterschiede, die im ganzen von der Reizschwelle unabhängig zu sein scheinen, indem gewisse Gerüche, wie Vanille, Veilchen, unter allen Umständen den Geruchssinn weniger erregen als andere, wie Campher, Benzol, Mercaptan u. a.; und bei den schwach riechenden Substanzen scheint dann auch im allgemeinen die Unterschiedsempfindlichkeit geringer zu sein als bei den stark riechenden[1]. Mit diesen Differenzen, die uns ähnlich auch bei den andern chemischen Sinnen (den Geschmacks- und Farbenempfindungen) begegnen werden, hängen sichtlich zugleich die mannigfachen individuellen Unterschiede der Geruchsempfindung zusammen, die dann in die verschiedensten Grade partieller oder totaler Anosmie übergehen können[2]. Eine charakteristische Erscheinung, die uns ebenfalls in analoger Weise bei den übrigen chemischen Sinnen wieder begegnen wird, besteht ferner darin, dass bei der Mischung von Geruchseindrücken Empfindungen entstehen, die zwar in der Regel ihre Componenten noch erkennen lassen, dabei aber doch keineswegs als bloße Additionen derselben erscheinen. Vielmehr sind hierbei drei Fälle möglich: 1) Ist die eine Componente von weit überwiegender Stärke, so löscht sie fast immer die übrigen ganz aus. 2) Sind die Componenten von annähernd gleicher Stärke, so entsteht ein Mischgeruch, der beiden ähnlich ist, so aber, dass jede Componente geschwächt und dadurch die resultirende Empfindung modificirt erscheint. 3) In einzelnen Fällen endlich compensiren sich bestimmte Geruchsreize vollständig, so dass ihre Mischung geruchlos ist[3]. Die näheren Bedingungen eines solchen Complementarismus der Geruchsreize sind aber noch völlig unbekannt.

Die Untersuchung der Geruchsempfindungen ist theils durch die Unzugänglichkeit der Riechflächen, theils durch die Unmöglichkeit einer exacten Bestimmung der Reizstärken besonders erschwert. Dem letzteren Uebelstande hat Zwaardemaker durch das von ihm construirte Olfactometer einiger-

[1] Eine exactere Ermittelung der Unterschiedsschwellen begegnet freilich aus nahe liegenden Gründen bei den Gerüchen kaum zu überwindenden Schwierigkeiten. Wenn daher Gamble (Amer. journ. of Psychol. vol. 10, 1898, p. 82 ff.) in seinen hierauf gerichteten Versuchen die Werthe der relativen Unterschiedsschwelle bei den verschiedensten Gerüchen wenig abweichend und, dem Weber'schen Gesetze gemäß, annähernd constant fand, so ist dieses provisorische Ergebniss in Anbetracht der von Gamble selbst hervorgehobenen zahlreichen Fehlerquellen wohl nur als ein Hinweis darauf zu betrachten, dass hier die Differenzen der Unterschiedsschwellen sehr viel geringer als die der absoluten Reizschwellen sein müssen.

[2] Passy, Comptes rend. de la soc. de biol. 1892, p. 239. Zwaardemaker, Physiologie des Geruchs, S. 125, 188 ff.

[3] Zwaardemaker, a. a. O. S. 165.

maßen abzuhelfen gesucht (Fig. 160). Dasselbe besteht aus einem porösen Cylinder, in dessen eine Oeffnung eine Glasröhre verschiebbar eingepasst ist, deren gebogenes Ende genau der Weite der Nasenöffnung entspricht. Der Cylinder, der vor dem Versuch durch längere Behandlung mit Wasser vollständig geruchlos gemacht sein muss, wird in die riechende Flüssigkeit getaucht und, nachdem seine Poren ganz mit derselben imprägnirt sind, abgetrocknet und ausgeblasen. Dann wird die Riechröhre bis zu einer bestimmten, an einer Scala abzulesenden Tiefe in ihn eingeführt. Ein kleiner hölzerner Schirm, der mit Handgriff versehen ist, dient dazu, den Riechstoff von dem andern Nasenloch abzuhalten. Für Versuche mit binasalem Riechen dient ein ähnlicher Apparat mit doppeltem Riechmesser. Um nun die Stärke des Geruchs zu variiren, wird die Riechröhre verschieden tief in den Cylinder eingeführt. Je tiefer sie in ihn hineinreicht, um so kleiner ist natürlich die Menge des in sie gelangenden Riechstoffs. Diejenige Länge der im Cylinder von der eingeathmeten Luft durchlaufenen Strecke, die gerade hinreicht, um eine Geruchsempfindung zu erzeugen, nennt ZWAARDEMAKER eine »Olfactie«. Da nun die Menge der von dem Cylinder abgegebenen Dämpfe annähernd der durchlaufenen Strecke proportional sein wird, so kann man, wenn jene erste Strecke als Einheit genommen wird, den ganzen Cylinder in Olfactien eintheilen und auf diese Weise theils die Reizschwellen verschiedener riechender Substanzen, theils die verschiedener Individuen in Bezug auf eine und dieselbe riechende Substanz vergleichen. Für den letzteren Zweck construirte ZWAARDEMAKER auch ein Olfactometer mit einem festen Kautschukcylinder, wo dann die individuellen Unterschiede der Reizschwelle direct in Olfactien einer bestimmten Normaleinheit gemessen werden konnten[1].

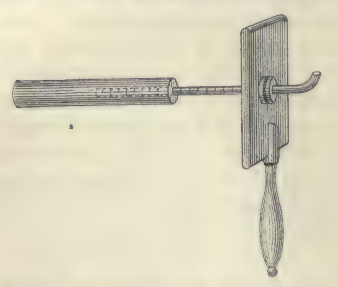


Fig. 160. Olfactometer nach ZWAARDEMAKER.

Dieses Olfactometer eignet sich nun auch sehr gut, um verschiedene Gerüche gleichzeitig theils auf eine Riechfläche, theils, mit dem Doppelriechmesser, auf die Riechflächen beider Nasencanäle einwirken zu lassen. ZWAARDEMAKER fand auf diese Weise, dass Kautschuk und Wachs, Paraffin oder Tolubalsam, ferner Jodoform und Perubalsam, Ricinusöl oder Vanille sich vollständig aufheben können, ohne dass in diesen Fällen eine chemische Verbindung zu einer geruchlosen Substanz wenigstens außerhalb der Riechzellen anzunehmen ist. Dies wird auch dadurch erwiesen, dass die gleiche Compensation stattfindet, wenn man die beiden Gerüche getrennt den beiden Nasenöffnungen zuleitet. Letzteres zeigt zugleich, dass die Erscheinung insofern von dem später zu erörternden Complementarismus der Farben abweicht, als sie offenbar nicht bloß in den peripheren Riechzellen, sondern auch noch

[1] ZWAARDEMAKER, a. a. O. S. 125 ff. Weitere Modificationen dieses mehr für pathologisch-diagnostische als für psychophysische Zwecke in Betracht kommenden Verfahrens hat CH. HENRY angewandt, Comptes rend. de l'acad. des sciences, 9 févr. 1891.

in den centraleren Zellen, wahrscheinlich der Glomeruli, stattfinden kann[1]. Uebrigens bieten sich bei der Entstehung von Mischgerüchen, wie oben bemerkt, schon Uebergangsstufen zu einer solchen Compensation dar, indem dabei stets, wie mir scheint, eine theilweise Compensation zu beobachten ist, abgesehen von dem Grenzfall, wo der eine Geruch so stark ist, dass er den oder die andern völlig verdrängt.

Da eine directe Erforschung der chemischen Vorgänge in den Riechzellen bei dem gegenwärtigen Stand unserer Kenntnisse aussichtslos ist, so scheint das einzige Hülfsmittel, um wenigstens indirect über den Chemismus der Geruchsreizung Aufschluss zu gewinnen, in der Vergleichung der subjectiven Beziehungen der Empfindungen mit den Verhältnissen der chemischen Zusammensetzung der Riechstoffe zu bestehen. Auch in dieser Beziehung bieten jedoch bis jetzt die einzigen Anhaltspunkte die beiden sich durchgehends in der Erfahrung bestätigenden Sätze, dass 1) Geruchsstoffe, die in ihrer chemischen Constitution homologe Reihen bilden, auch in ihren Geruchsqualitäten verwandt sind, und dass 2) die Riechstärke von den niedrigeren zu den höheren Gliedern der homologen Reihen zunimmt, um dann erst bei den noch höheren Gliedern wieder abzunehmen, ein Satz, mit welchem auch die oben erwähnte Thatsache zusammenhängt, dass die stark riechenden Substanzen mit sehr kleiner Reizschwelle im allgemeinen complexe und relativ fixe Verbindungen von hohem Moleculargewicht sind. Einen augenfälligen Beleg für jenes Anwachsen und Wiedersinken der Geruchsenergie mit dem Moleculargewicht bildet die Fettsäurereihe, die mit der schwach riechenden Ameisensäure (CH_2O_2) beginnt, in der Butter-, Capronsäure ($C_4H_8O_2$ und $C_6H_{12}O_2$) u. s. w. zu sehr stark riechenden Gliedern aufsteigt, um schließlich in der Palmitin-, Margarin-, Stearinsäure ($C_{16}H_{32}O_2$, $C_{17}H_{34}O_2$, $C_{18}H_{36}O_2$) u. s. w. mit fast geruchlosen Substanzen zu endigen[2]. Diese Thatsachen reichen aber um so weniger aus, darauf irgend welche einigermaßen begründete Vorstellungen über den Chemismus des Riechens zu gründen, als wir uns auch über die subjectiven Beziehungen der Gerüche einer bestimmten Reihe noch völlig im Dunkeln befinden. Inwieweit z. B. die Verwandtschaft der Empfindungen einer bestimmten Gruppe darauf zurückgeführt werden kann, dass sich dieselben sämmtlich aus der verschiedenen Mischung weniger Empfindungscomponenten zusammensetzen, wie Manche vermuthen[3], oder ob, was ebenso gut möglich ist, jeder Stoff je nach seiner eigenen Constitution auch wieder etwas abweichende chemische Wirkungen in der Riechzelle auslöst, lässt sich vorläufig absolut nicht entscheiden. Nur ein eingehenderes Studium der Bedingungen und des Verhaltens der Mischgerüche sowie der Geruchscompensationen würde vielleicht hier von psychophysischer Seite aus Aufschlüsse gewähren können. So viel lässt sich jedoch wohl schon jetzt sagen, dass eine Vertheilung aller einzelnen Riechqualitäten an specifische Endgebilde, wie sie zuweilen versucht wurde[4], ebenso wie sie in den anatomischen Verhältnissen der letzteren keine Unterlagen findet (Bd. 1, S. 437), so auch psychophysisch durch keinerlei Thatsachen gestützt wird, wohl aber von vornherein wenig wahrscheinlich ist. Die vergleichend anatomischen Verhältnisse der

[1] Zwaardemaker, a. a. O. S. 165 ff.
[2] Haycraft, Brain, vol. 11, p. 166.
[3] W. Nagel, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 15, 1898, S. 82 ff.
[4] Zwaardemaker, a. a. O. S. 271.

Riechzellen lassen annehmen, dass die eigentliche Reizwirkung hier nicht etwa auf einer Bewegung der Cilien beruht, die vielmehr, soweit sie überhaupt vorkommen, nur äußere Hülfsmittel für die Zuführung der Riechstoffe zu den Riechzellen sind, sondern dass der eigentliche Geruchsact mit dem Eindringen des Riechstoffs in die Zelle selbst zusammenfällt. Ist aber dies der Fall, dann ist durchaus nicht einzusehen, warum nicht z. B. eine Substanz von der Zusammensetzung $C_6H_{12}O_2$, wie sie selbst keine bloße Mischung ist aus irgend welchen andern, etwa $C_4H_8O_2$ und CH_2O_2, sondern eben eine selbständige Atomgruppirung, so nicht auch als eigenartiger Reiz in der Riechzelle wirksam sein sollte. Da die Vorgänge in dieser chemische sind, gerade so wie diejenigen Processe in der Außenwelt, aus denen die Geruchsreize selbst hervorgehen, so haben wir gar keinen Grund, jene chemischen Vorgänge in den Zellen, an denen ja unmittelbar die eingedrungenen Stoffe betheiligt sind, sehr viel einfacher oder gleichförmiger als diese zu denken. Vollends hat es in diesem Fall nicht die geringste Wahrscheinlichkeit, dass jede Zelle nur so zu sagen auf eine einzige chemische Reaction abgestimmt wäre. So leicht das auf akustischem Gebiet denkbar ist, wenn, wie in der Schnecke, die erforderlichen mechanischen Einrichtungen zu Hülfe kommen, so schwer denkbar ist es im Gebiet der chemischen Reactionen. Man wird also ruhig diese Annahme in die Classe jener falschen Hypothesenbildungen verweisen dürfen, die, bloß unter der Wirkung des Dogmas von der specifischen Energie entstanden, keine einzige bestätigende Thatsache für sich aufzuweisen haben, wohl aber im Grunde allem widersprechen, was wir über die Empfindungen, ihre morphologischen Substrate und schließlich auch über die Natur der äußeren Reize und ihrer Eigenschaften wissen.

b. Geschmacksempfindungen.

Wenn wir Geruchs- und Geschmackssinn als die zwei nach verschiedenen Richtungen entwickelten Formen eines ursprünglich einheitlichen chemischen Sinnes betrachten können, so ist dies, wie schon früher (Bd. 1, S. 374) bemerkt wurde, keinesfalls so zu verstehen, als wenn sich der eine dieser Sinne aus dem andern, oder als wenn sie sich beide aus einem ursprünglicheren, zwischen ihnen stehenden chemischen Sinne entwickelt hätten. Mindestens würde letzteres für die Wirbelthiere unzutreffend sein, bei denen die Geschmacksorgane, völlig unabhängig von den unter directer Betheiligung der Vorderhirngebiete entstandenen Riechnervenendigungen, unmittelbar aus einer Differenzirung des Hautsinnesorgans, hervorgehen; daher denn auch Geschmacks- und Tastfunctionen fortan viel enger an einander gebunden bleiben, wie sich dies sowohl an dem Verlauf und der Endigung der Sinnesnerven der Mundhöhle, wie an den vielfach vorkommenden Mischungen beider Empfindungen verräth. Hierdurch kann es oft schwer werden, aus einer solchen Mischung den dem reinen Geschmackssinn zukommenden Antheil zu isoliren. Zugleich müssen aber diese Verhältnisse von vornherein davor warnen, Geruch

und Geschmack in allzu enge Beziehungen zu einander zu bringen. Gemeinsam ist ihnen schließlich doch nur, dass es beidemal chemische Reize sind, welche die Empfindungen auslösen. Dabei weichen aber nicht bloß diese Reize selbst, sondern offenbar auch die näheren physiologischen Bedingungen der Empfindung durchaus von einander ab. Indem der Geschmackssinn auch in seinem physiologischen Verhalten als eine Differenzirung des Hautsinnesorgans erscheint, die sich speciell den an die Nahrungsaufnahme gebundenen chemischen Tastreizen angepasst hat, unterscheiden sich demgemäß die Beziehungen zwischen Empfindung und Reiz und die allgemeinen Eigenschaften der Empfindung sehr wesentlich von den Verhältnissen des Geruchsorgans, das für die allgemeineren und aus der Ferne schon einwirkenden chemischen Reize des umgebenden Mediums eingerichtet ist.

Diese besondere Beziehung zu dem Tastorgan und zu den Functionen der Nahrungsaufnahme kommen nun, abgesehen von der Lage der Schmeckbecher an den Eingängen des Nahrungscanals, vornehmlich in zwei Eigenschaften zum Ausdruck: erstens in der gegenüber der Fülle der Riechqualitäten sehr beschränkten Anzahl specifisch verschiedener Empfindungen, und zweitens in der eigenthümlichen localen Differenzirung, die besonders an der Oberfläche des Hauptgeschmacksorgans, der Zunge, hinsichtlich der Feinheit der Empfindung für die verschiedenen Geschmacksqualitäten eingetreten ist. In ersterer Hinsicht findet dann freilich der Geschmack seine Ergänzung in dem Geruch, dessen räumliche Nähe eben mit dieser Hülfsfunction zusammenhängt, durch welche sich die Geschmackseindrücke, ebenso wie nach der einen Seite mit Tast-, so nach der andern mit Geruchsempfindungen mischen, um dann erst in dieser doppelten Complication zu psychischer Wirkung zu gelangen. In der zweiten Beziehung aber hängt die abweichende locale Reizempfindlichkeit des Geschmacksorgans vor allem mit den die Auswahl der Nahrung vermittelnden Bewegungen der Mund- und Rachenorgane zusammen, wie dies besonders die an die verschiedenen Geschmacksreize gebundenen Reflexe verrathen.

Als einfache Geschmacksqualitäten lassen sich mit Sicherheit nur sauer, süß, bitter und salzig unterscheiden. Zu ihnen kommen dann noch alkalisch und metallisch, von denen aber bezweifelt wird, ob sie specifische Geschmacksempfindungen, oder ob sie Verbindungen der vorigen mit Tastempfindungen seien[1]. Der alkalische Geschmack erscheint

[1] M. von Vintschgau (Pflügers Archiv, Bd. 20, S. 225 ff., Hermanns Lehrbuch, Bd. 3, II, S. 208) und Oehrwall (Scandin. Archiv für Physiologie, Bd. 2, S. 1 ff.) erkennen nur sauer, süß, bitter und salzig als besondere Qualitäten an. Ein einigermaßen sicherer Beweis für diese Beschränkung ist aber nicht erbracht. Wenn vollends W. Sternberg

gleichzeitig dem süßen und dem salzigen verwandt, und er ist überdies wegen der lösenden Wirkung des Alkali auf das Zungenepithel mit der Tastempfindung der Glätte verbunden, es ist also möglich, dass er lediglich aus einer Mischung dieser Empfindungen besteht; doch ist nicht ausgeschlossen, dass dazu noch eine besondere, dem Alkali als solchem eigene Geschmackswirkung hinzukommt. Noch weniger gelingt es, das Metallische mit Sicherheit als eine Mischung zu erweisen. Der einzig mögliche Beweis hierfür, welcher darin liegen würde, dass man es aus einer Mischung anderer Reizeinwirkungen zusammensetzte, ist bis jetzt noch nicht geglückt. Eine fernere Frage ist es, ob die oben genannten vier Hauptqualitäten selbst uniforme Empfindungen sind, oder ob nicht jede derselben noch mannigfache qualitative Nüancen umfasst. Sicher ist in dieser Beziehung, dass man bei örtlich beschränkter Reizung einer Stelle der Geschmacksfläche nicht im stande ist, verschiedene Säuren, süße Stoffe, Bitterstoffe u. dergl. zu unterscheiden, sofern nicht charakteristische Mischungen mit andern Geschmäcken oder mit Geruchsempfindungen hinzukommen[1]. Durch die Verbindung mit charakteristischen Tastempfindungen sind vorzugsweise der saure, alkalische, salzige und bittere Geschmack ausgezeichnet. Die Säuren bewirken die Empfindung des Adstringirenden, welche, durch die Reizung der Schleimhaut, der submucösen Muskelschichte und der kleinen Gefäßmuskeln veranlasst, wahrscheinlich zum Theil Muskelempfindung ist. Die Alkalien erzeugen in Folge der schnellen Auflösung der oberflächlichen Epithelschichte eine eigenthümliche Empfindung des Weichen, die übrigens aus dem gleichen Grunde auch bei concentrirten organischen Säuren neben der adstringirenden Empfindung vorkommen kann. Im Gegensatze zu dieser mehr directen Wirkung auf die betroffenen Gewebe scheinen Salze und Bitterstoffe, wenn sie in concentrirterer Form zur Anwendung kommen, hauptsächlich reflectorische Bewegungen der Schlingmuskeln und begleitende Muskelempfindungen hervorzurufen. So ist die Empfindung des Ekels eine Gemeinempfindung, die zwar auch auf andere Weise entstehen kann, vorzugsweise aber an intensiv bittere und salzige Geschmackseindrücke gebunden ist. So weit er nicht in diesen Geschmacksempfindungen selbst besteht, ist der Ekel wahrscheinlich eine Muskelempfindung, deren Ausbreitung und Verlauf durch die antiperistaltischen Bewegungen der Schling-

---

(Archiv für Physiologie, 1899, S. 367) die reinen Geschmacksqualitäten auf süß und bitter reduciren möchte, so findet diese großentheils auf chemische Speculationen gegründete Hypothese in den Thatsachen keine Stütze; und der Umstand, auf den schon frühere Beobachter (Valentin, von Vintschgau) hinwiesen, dass saure und salzige Eindrücke immer zugleich Tastempfindungen erregen, liefert jedenfalls keinen Beweis gegen die Existenz einer daneben bestehenden Geschmacksempfindung.

[1] Corin, Bull. de l'Acad. de Belg. (3; t. 14, 1888, p. 616. (Versuche mit Säuren.)

muskeln sowie des Oesophagus und Magens bestimmt wird[1]. Wie bei allen Gemeinempfindungen, so können aber auch hier reflectorische Uebertragungen auf andere Theile und in Folge dessen Mitempfindungen verschiedenen Grades stattfinden: hierher gehören die Haut- und Muskelempfindungen, welche durch die Contraction der Blutgefäße des Antlitzes und durch die Erregung der Schweißsecretion hervorgerufen werden, sowie die Empfindungen allgemeiner Muskelschwäche, welche die bei hohen Graden des Ekels entstehende reflectorische Hemmung der Muskelspannungen begleiten. Als eine bei allen sehr starken Geschmacksreizen vorkommende Begleitung von Seiten des Tastsinns ist endlich eine stechende Empfindung zu erwähnen, die sich je nach der Beschaffenheit des Reizes zu einer mehr oder weniger starken Schmerzempfindung steigern kann. Wir haben in dieser Empfindung wahrscheinlich ein Reizsymptom zu erblicken, das von der ätzenden Einwirkung auf die sensibeln Nerven herrührt.

Eine äußere Erregung von Geschmacksempfindungen auf anderem Wege als durch chemische Reizung der Endorgane ist bis jetzt nicht nachgewiesen. Die Behauptung, mechanischer Druck auf die Zunge bringe saure oder bittere Geschmacksempfindungen hervor[2], beruht vielleicht auf einer subjectiven Täuschung, die durch die Association mit bestimmten Tastempfindungen entstanden ist. Erzeugt man z. B. durch Druck auf die Zungenwurzel Würgbewegungen und Ekel, so kann sich damit die Empfindung des Bittern, als des vorzugsweise ekelerregenden Geschmacks, associiren. Der elektrische Strom erzeugt Geschmacksempfindungen, die am negativen Pol als alkalisch, am positiven meist als metallisch oder als sauer angegeben werden; bei der Oeffnung des Stromes kehren sich diese Erscheinungen um: am negativen Pol tritt jetzt der saure, am positiven der alkalische Geschmack ein. Da aber diese Geschmäcke durchaus den Zersetzungsproducten entsprechen, die der Strom in einer salzhaltigen Flüssigkeit ausscheidet, so ist es wahrscheinlich nicht die elektrische Reizung als solche, die die Empfindungen erzeugt, sondern diese werden direct durch die chemische Reizwirkung der elektrolytischen Zersetzungsproducte hervorgerufen[3]. Der Umstand, dass die Empfindungen auch dann auftreten können, wenn auf der Oberfläche der Zunge die Zersetzungsproducte nicht nachzuweisen sind, ist hier offenbar nicht maßgebend, da zunächst die Ausscheidung der Elektrolyten im Innern der Geschmacksorgane die chemische Reizung bewirken wird. Durch die isolirte Reizung einzelner

---

[1] A. Stich, Annalen des Charité-Krankenhauses in Berlin, Bd. 8, 1858, S. 22 ff.
[2] Vgl. von Vintschgau, Hermanns Physiologie, Bd. 3, II, S. 188.
[3] L. Hermann (und Laserstein), Pflügers Archiv, Bd. 49, 1891, S. 519. Hofmann und Bunzel, ebend. Bd. 66, 1898, S. 215. von Zeynek, Physiol. Centralblatt, Bd. 13, 1899, S. 617.

Papillen mit Inductionsströmen lässt sich dagegen keine Geschmacksempfindung hervorbringen[1]. Demnach sprechen alle Beobachtungen dafür, dass in diesem Fall die eigenthümliche Qualität der Empfindung nur in den Endorganen und unter der Einwirkung der chemischen Reize, denen diese angepasst sind, zu stande kommt.

Diese Anpassung der Endgebilde an die Geschmacksreize ist nun an den verschiedenen Theilen der Schmeckfläche eine qualitativ und quantitativ abweichende. Auch ist die Ausbreitung der Schmeckfläche selbst eine ziemlich begrenzte, wenngleich beträchtlich ausgedehnter als die der Riechfläche (siehe oben S. 48). Schmeckfähig ist nämlich beim erwachsenen Menschen die Zunge mit Ausschluss der Mittelregion ihrer Oberfläche und ihrer ganzen unteren Fläche, außerdem der weiche Gaumen, etwas inconstanter das Gaumensegel mit dem Zäpfchen, und in seltenen Fällen auch ein Theil des harten Gaumens. Relativ ausgedehnter ist die perceptionsfähige Fläche beim Kinde, bei dem die ganze Oberfläche der Zunge, auch der mittlere Theil, erregbar ist, so dass sich also erst in Folge des Wachsthums die Endgebilde auf die peripheren Theile des Organs zurückziehen und die Mitte bloß Tastorgan bleibt[2]. Den empfindlichsten Theil dieser Schmeckfläche bildet die Randzone der Zunge, von der aus die Empfindlichkeit gegen die Mitte hin derart regelmäßig abnimmt, dass sich die ganze Schmeckfläche in eine Anzahl dem Rande paralleler Zonen, »Isochymen« (von χυμός Geschmack), zerlegen lässt, in deren jeder die durchschnittliche Empfindlichkeit annähernd constant ist (Fig. 161). Dabei stuft sich zugleich die Reizbarkeit für die verschiedenen Geschmacksstoffe innerhalb jeder Zone so ab, dass sie für Süß an der Zungenspitze, für Bitter an der Basis und für Sauer in der Mitte des Seitenrandes ihr Maximum hat, um von da an beim Uebergang zu den von diesem Optimum entfernteren Orten allmählich zu sinken. Nur die Empfindlichkeit für Salzig ist in allen Theilen einer Isochyme annähernd gleich. Von den übrigen Gebieten der Schmeckfläche hat

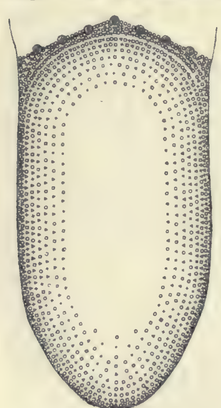


Fig. 161. Verlauf der Isochymen auf der Zungenoberfläche.

[1] Oehrwall, a. a. O. S. 63.

[2] Urbantschitsch, Beobachtungen über Anomalien des Geschmacks. 1878. Kiesow, Philos. Stud. Bd. 10, 1894, S. 329 ff. Auch die Wangenschleimhaut soll bei Kindern perceptionsfähig sein.

bloß noch der weiche Gaumen eine erhebliche Bedeutung: er nähert sich in seiner relativen Empfindlichkeit für die verschiedenen Stoffe der Zungenbasis. Drückt man die Größe der Reizbarkeit für jeden Punkt der Schmeckfläche durch Zahlen aus, die der relativen Reizschwelle für diesen Punkt reciprok sind, so kann man sich demnach das Verhalten der einzelnen Regionen dadurch veranschaulichen, dass man jede Geschmacksqualität durch kleine geometrische Figuren, Süß z. B. durch Kreise, Sauer durch Quadrate, Bitter durch Dreiecke, Salzig durch Kreuzchen, ausdrückt und an jeder Stelle die Anzahl der Figuren der relativen Empfindlichkeit für den betreffenden Geschmack proportional macht. Dann entsteht das in Fig. 161 gezeichnete Bild, welches zunächst erkennen lässt, dass die nach der Gesammtdichtigkeit aller Elemente zu messende allgemeine Empfindlichkeit innerhalb jeder »Isochyme« constant ist, aber beim Uebergang vom Rand gegen die Mitte abnimmt und schließlich auf Null sinkt; und dass ferner jede der Qualitäten mit Ausnahme des

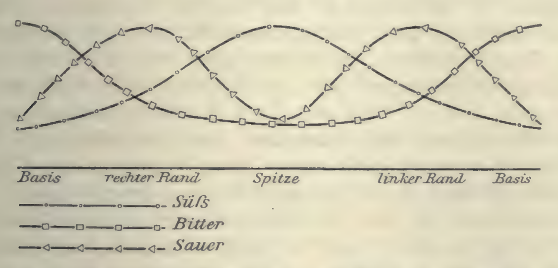


Fig. 162. Verlauf der Empfindlichkeit für Süß, Bitter und Sauer innerhalb einer Isochyme des Zungenrandes.

Salzigen an einem bestimmten Punkt einer jeden Isochyme, der für Süß vorn, für Sauer in der Mitte und für Bitter hinten liegt, ein Optimum der Empfindlichkeit hat, von wo aus diese nach beiden Seiten sinkt, ohne aber irgendwo innerhalb der Geschmackszonen auf Null herabzugehen. Denkt man sich daher irgend eine der Isochymen so zu einer geraden Linie aufgerollt, dass der Punkt der Zungenspitze in der Mitte liegt, so versinnlichen die drei Curven in Fig. 162 diese Verhältnisse[1]. Der Sinn dieser Vertheilung erhellt aus dem Zusammenhang, in welchem die Geschmacksreize mit den durch sie ausgelösten Reflexbewegungen stehen, wenn man bedenkt, dass das Saure und das Bittere diejenigen Reize sind, die am häufigsten in einer die Endorgane schädigenden Stärke in den

[1] D. P. Hänig, Philos. Stud. Bd. 17, 1901, S. 576 ff.

Nahrungsmitteln zugeführt werden. Die reflectorisch eintretende Erweiterung der Mundspalte bei sauren, die ebenso erfolgende Erhebung des weichen Gaumens mit gleichzeitigem Herabsinken der Zungenwurzel bei bitteren Eindrücken erscheinen dann als Bewegungen, die in Folge der Zunahme der Reflexe mit der Stärke der Reize die Einwirkung der letzteren auf die Schmeckbecher in entsprechendem Grade ermäßigen. Dagegen hat das Süße namentlich bei den pflanzenfressenden Thieren und wohl von frühe an auch beim Menschen die Bedeutung eines Lockreizes, welcher die den Geschmacksstoff aufsuchenden Zungenbewegungen reflectorisch auslöst. Hierdurch haben diese Bewegungen zum Theil schon bei den höheren Thieren, namentlich aber beim Menschen zugleich die allgemeinere Bedeutung mimischer Reflexe gewonnen, die als Ausdrucksformen von Gefühlen und Affecten eine, wie wir sehen werden, wichtige psychophysische Function erfüllen[1].

An und für sich lässt nun diese verschiedene Reizbarkeit der einzelnen Regionen der Schmeckfläche eine doppelte Deutung zu. Entweder kann man annehmen, jeder Geschmacksqualität entspreche eine specifische Art von Geschmackszellen, die letzteren aber seien so vertheilt, dass an der Zungenspitze vorwiegend süß, an der Basis bitter empfindende anzutreffen seien u. s. w. Oder man kann sich denken, in der Regel sei jede Schmeck-, ebenso wie muthmaßlich jede Riechzelle, durch die verschiedensten Geschmacksstoffe reizbar, aber in den einzelnen Regionen des Organs differirten die Zelleninhalte in Folge jener Anpassung an die Nahrungsaufnahme, die auch die oben erwähnten zweckmäßigen Reflexe hervorgebracht, durchweg derart in ihrer chemischen Constitution, dass ihr Protoplasma in verschiedenem Grade durch die einzelnen Reizstoffe chemisch afficirt werde. In der That hat OEHRWALL geglaubt diese Alternative im Sinne der ersten Annahme entscheiden zu können, indem er einzelne Papillen isolirt zu reizen versuchte, wobei sich zeigte, dass viele zwar auf alle vier Geschmacksstoffe, manche aber nur auf einzelne derselben reagirten, z. B. auf Zucker, nicht auf Weinsäure, oder umgekehrt auf diese, nicht auf Zucker. So reagirten von 125 Papillen 91 auf Weinsäure davon 12 nur auf diese, 79 auf Zucker, 3 nur auf Zucker, 71 auf Chinin, aber keine bloß auf Chinin. Danach kommt der Fall, dass eine Papille bloß auf einen Geschmacksstoff reagirt, nur ausnahmsweise vor. Noch deutlicher erhellt dies aus den von KIESOW ausgeführten Versuchen, in welchen von 35 sorgfältig untersuchten pilzförmigen Papillen, die den verschiedenen Regionen der Zunge entnommen waren, reagirten:

---

[1] Vgl. hierzu die in Abschn. IV folgende Erörterung der Ausdrucksbewegungen.

auf Kochsalz	31 (18),	nur auf Kochsalz	0 (3)
» Zucker	31 (26),	» » Zucker	1 (7)
» Salzsäure	29 (18),	» » Salzsäure	0 (3)
» Chinin	21 (13),	» » Chinin	1 (0).

Die in Klammern beigefügten Zahlen bezeichnen diejenigen Verhältnisse, die sich bei unwissentlichem Verfahren, nach Abrechnung der Fälle mit zweifelhaftem Urtheil, ergaben[1]. Da nun nicht nur jede Papille, sondern schon jeder Schmeckbecher eine größere Zahl von Schmeckzellen enthält, so sind diese Resultate natürlich nach keiner Richtung entscheidend. Man kann sie an sich ebenso gut auf abweichende Mengenverhältnisse verschiedenartiger Sinneszellen wie auf abgestufte Eigenschaften der einzelnen beziehen. Immerhin sind die Fälle, wo eine Papille nur auf eine Reizqualität reagirt, so selten, und umgekehrt diejenigen, wo sie auf 3 oder 4 reagirt, so häufig, dass man schon nach diesen Resultaten die zweite Annahme immerhin für die wahrscheinlichere halten muss, um so mehr als merkliche Unterschiede in den morphologischen Eigenschaften der Schmeckzellen nicht existiren[2], und als analoge Abstufungen einer mehrseitigen qualitativen Erregbarkeit bei den ebenfalls den Substraten chemischer Reizung zuzurechnenden Sinneszellen der Retina außer allem Zweifel stehen (vgl. unten 4).

Entscheidender als die in ihren Ergebnissen immerhin zweideutigen directen Reizversuche treten nun aber, ähnlich wie schon beim Geruchssinn, die Erscheinungen der Mischung der Geschmacksreize für die mehrseitige Reizbarkeit der Elemente ein. Vor allem ist hier die Thatsache bedeutsam, dass, wie KIESOW fand, süß und salzig complementäre Reize sind, indem sich dieselben bei geeignetem Stärkeverhältniss zu einer völlig neutralen, in der Regel als »fade« bezeichneten Empfindung aufheben, die von keiner der beiden Componenten irgend etwas mehr erkennen lässt. Diese Erscheinung lässt sich nach dem, was über das chemische Verhalten der Stoffe bekannt ist, auch hier nicht wohl auf die Entstehung einer geschmacklosen chemischen Verbindung außerhalb der Schmeckzellen, sondern nur auf eine Compensation innerhalb derselben zurückführen. Ferner beobachtet man bei den übrigen Geschmacksmischungen zwar in keinem andern Fall mehr eine vollständige Compensation, sondern es bleiben stets die Componenten in dem Mischgeschmack unterscheidbar; wohl aber zeigt sich, gerade so wie bei der

[1] KIESOW, Philos. Stud. Bd. 14, 1898, S. 591 ff. Beachtenswerth ist zugleich, dass KIESOW bei diesen Versuchen eine starke Ermüdbarkeit der Papillen durch die Reizung, und dass HÄNIG (a. a. O.) eine in hohem Grad die Erregbarkeit schädigende Wirkung der Gewohnheit des Rauchens constatirte.

[2] Vgl. Bd. 1, Cap. VIII, S. 408 f.

Mischung der Riechstoffe, eine *theilweise* Compensation, indem jeder der Einzelgeschmäcke bedeutend geschwächt erscheint. Diese Herabsetzung ist besonders bei süß und sauer, doch auch bei süß und bitter deutlich zu bemerken; sie ist verhältnissmäßig am geringsten bei den Mischungen von salzig oder sauer mit bitter. Unter diesen Erscheinungen ist nun namentlich die der vollständigen Compensation mit der Annahme einer unabhängigen Erregung verschiedener Endgebilde kaum vereinbar. Sie wird dagegen begreiflich, wenn man voraussetzt, dass die durch die verschiedenen Reizstoffe erregten chemischen Vorgänge in den nämlichen Elementen stattfinden, wo sie nun in verschiedenem Grade in einander eingreifen und sich entweder theilweise oder vollständig aufheben können.

Neben den Compensations- beobachtet man endlich auch *Contrasterscheinungen*. Sie bestehen darin, dass eine Empfindung durch eine andere gleichzeitig oder unmittelbar vorher gegebene verstärkt wird. Am sichersten lässt sich dieser Contrast in den beiden Formen des simultanen und des successiven dadurch nachweisen, dass man einen etwas unter der Schwelle liegenden Reiz einwirken lässt, wo sich nun der Contrast darin äußert, dass jener untermerkliche Reiz über die Schwelle gehoben wird. Im allgemeinen scheint dabei die Stärke der Contrasterregung mit dem Grad der Compensation bei der Mischung der Reizstoffe annähernd gleichen Schritt zu halten. Demnach contrastiren salzig und süß am meisten, in geringerem Grade salzig und sauer sowie süß und sauer, in welchem letzteren Fall nur der successive, nicht der simultane Contrast mit Sicherheit nachweisbar ist. Bitter scheint der Contrastwirkung ganz unzugänglich zu sein[1]. Da diese Verstärkungen durch Contrast mit großer Schärfe auch bei der Reizung von einander entfernter Stellen der Schmeckfläche eintreten, bei denen eine periphere Wechselwirkung der Erregungen nicht wohl anzunehmen ist, so werden sie wohl auf jene centralen Bedingungen zurückgeführt werden müssen, die auch in andern Sinnesgebieten, vor allem beim Gesichtssinn, psychophysische oder psychologische Contrasterscheinungen herbeiführen[2].

---

[1] Kiesow, Philos. Stud. Bd. 10, 1894, S. 532 ff.

[2] Vgl. unten Nr. 4, f u. k, über Licht- und Farbencontraste. Einer näheren Untersuchung bedürfen hier, wie auch beim Geruchssinn, noch die *Nachwirkungen* der Empfindung. Sicher ist nur, dass alle Empfindungen noch längere Zeit nach der Entfernung des äußeren Reizes andauern, was sich natürlich leicht daraus erklären lässt, dass der einmal in die Schmeckzellen eingedrungene Reizstoff nur allmählich in ihnen zersetzt wird. Am längsten ist diese Nachwirkung bekanntlich beim Bittern. Dass nach dem Aufhören der directen Reizwirkung andersartige, contrastirende Nachempfindungen zurückbleiben, ist zwar mehrfach behauptet worden (vgl. von Vintschgau, Hermanns Handbuch der Physiologie, Bd. 3, II, S. 221), doch gründen sich solche Angaben nur auf ungefähre Beobachtungen, die einer exacten Nachprüfung noch bedürfen. Vielleicht ist übrigens auf eine complementäre Nachwirkung der Geschmackserregung die Erscheinung zurückzuführen, dass nach

Die Untersuchung der Geschmacksempfindungen hat theils wegen der erforderlichen Isolirung von den Geruchs- und den Tastempfindungen, theils wegen der für die meisten Zwecke wünschenswerthen localen Begrenzung der Reizung mit nicht geringeren Schwierigkeiten zu kämpfen wie die des Geruchs. Zur Beseitigung der Geruchscomponenten kann man sich künstlich herbeigeführter Anosmie, z. B. durch Füllung der Nase mit Wasser oder durch Spülung derselben mit Cocainlösung, bedienen; zur Isolirung von Tast- und Geschmackscomponenten der Bepinselung mit Cocain, welches vornehmlich die Tastempfindung, weniger den Geschmack beeinträchtigt, oder der Gymnemasäure, die sich umgekehrt verhält[1]. Zur Application local beschränkter, annähernd punktförmiger Reize verwendet man einen dünnen, mit der Schmeckflüssigkeit getränkten Pinsel. Um vergleichbare Werthe der Reizgrößen, namentlich für die Bestimmung der Reizschwelle, zu erhalten, geht man in diesem Fall zweckmäßig von Lösungen aus, deren Concentration zureicht, um annähernd der Reizhöhe zu entsprechen, und stellt dann Verdünnungen verschiedenen Grades her. Man erhält so wenigstens für die hier hauptsächlich interessirenden Reizschwellen der einzelnen Theile der Geschmacksfläche vergleichbare Werthe. Dagegen ist eine Vergleichung der Reizschwellen der verschiedenen Geschmacksstoffe mit einander in Anbetracht unserer Unkenntniss der chemischen Wirkungsweise dieser Reize überhaupt von geringem Werthe, und die Versuche zur Bestimmung von Unterschiedsschwellen begegnen hier, ebenso wie bei den Geruchsempfindungen, im Hinblick auf die Verhältnisse der Reizeinwirkung so großen Schwierigkeiten, dass sich keine sichern Ergebnisse gewinnen lassen[2]. Nur eine tiefere Einsicht in die Molecularwirkungen der Schmeckstoffe würde vollends die einer Vergleichung der verschiedenen Geschmacksreize entgegenstehenden Hindernisse beseitigen können. Hier sind aber selbst die Versuche, Beziehungen zwischen bestimmten Veränderungen der Molecularstructur und parallel gehenden Aenderungen der Empfindung aufzufinden, die, wie wir oben sahen, bei dem Geruchssinn einige interessante Resultate geliefert haben, im ganzen von geringem Erfolg gewesen[3]. Handelt es sich jedoch bloß darum, vergleichbare Werthe der Reizschwelle für die verschiedenen Theile der Schmeckfläche zu gewinnen, so eignen sich dazu die von Kiesow und Hänig benutzten Normallösungen von 10°/o Sacch. alb., 10°/o NaCl, 0,2°/o HCl und 0,1°/o Chin. sulf., die der Reizhöhe hinreichend nahe liegen, ohne doch durch die bei concentrirteren Lösungen eintretende Betheiligung der Tastnerven störend zu werden. Nimmt

---

der Einwirkung von Säuren oder von gewissen Salzen, wie Kaliumchlorat, vorher geschmackloses destillirtes Wasser deutlich süß schmeckt (W. Nagel, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 10, S. 235).

[1] Näheres über die Wirkung beider Stoffe vgl. bei Kiesow, Philos. Stud. Bd. 9, 1894, S. 510 ff.

[2] Uebrigens fand W. Camerer (Pflügers Archiv, Bd. 2, 1869, S. 322. Zeitschr. für Biologie, Bd. 21, S. 570) annähernd das Weber'sche Gesetz bestätigt, während sich in Fr. Keplers Versuchen (Pflügers Archiv, Bd. 2, S. 449) größere Abweichungen ergaben.

[3] W. Sternberg, Archiv für Physiologie, 1898, S. 45. Höber und Kiesow, Zeitschr. für physikal. Chemie, Bd. 27, 1898, S. 601. Sternberg fand, dass die süß schmeckenden mehratomigen Alkohole durch Einführung von Phenyl bitter schmeckend wurden. Höber und Kiesow fanden, dass bei den Kalium- und Natriumsalzen nicht das neutrale Molecül, sondern die Concentration der Anionen für den salzigen, umgekehrt bei den Beryllsalzen die des Kation für den süßen Geschmack maßgebend war.

man diese annähernd der Reizhöhe entsprechenden Concentrationen als Einheiten, so lassen sich dann die Reizschwellen in Bruchtheilen dieser Einheiten ausdrücken. So fand Hänig folgende Werthe, die übrigens aus dem angegebenen Grunde nur innerhalb jeder Verticalreihe vollkommen vergleichbar sind:

	Süß	Salzig	Sauer	Bitter
Zungenspitze . .	0,40	0,34	0,055	0,0004
Mitte des Randes	0,70	0,38	0,035	0,0003
Zungenbasis. . .	1,60	0,40	0,050	0,00006
Weicher Gaumen	0,75	0,37	0,041	0,00022

Dabei ist nicht zu vergessen, dass sich diese Zahlen nur auf local sehr beschränkte, annähernd punktuelle Reize beziehen, wie solche zur Feststellung der in Fig. 161 dargestellten Isochymen nothwendig sind. Ausgebreitetere Reizeinwirkungen setzen, ähnlich wie beim Tast- und Gesichtssinn, die Schwelle erheblich herab. Doch fehlt es noch an genaueren Bestimmungen, in welchem Maße dies geschieht, ebenso wie auch darüber, ob, was nicht unwahrscheinlich ist, die Ununterscheidbarkeit verschiedener Süß-, Sauer- u. s. w. Geschmäcke bloß bei der verhältnissmäßig unvollkommenen punktuellen Empfindung besteht, ob nicht also, wenigstens innerhalb eines beschränkten Umfangs, jede jener Geschmacksbezeichnungen noch eine Variation der Qualität zulässt. An und für sich lehren ja auch die Versuche über Geschmacksmischungen, dass, abgesehen von den Empfindungen alkalisch und metallisch, deren vollständige Auflösung in die andern Qualitäten bis jetzt nicht gelungen ist, diese vier zwar die für die Function wichtigsten und eben darum wohl die am bestimmtesten durch die localen Unterschiede der Endorgane gegen einander abzugrenzenden, dass sie aber sicherlich nicht die einzigen sind. Namentlich ist die bei der Compensation von süß und salzig eintretende Empfindung weder mit irgend einer der andern identisch, noch lässt sie sich etwa als eine bloße Tastempfindung betrachten; sondern sie ist eben eine Geschmacksqualität, für die wir einen bestimmten Namen nicht besitzen. Das ähnliche ist aber auch bei den andern, partiellen Compensationen nicht ganz ausgeschlossen, da, falls hier aus der theilweisen Aufhebung der Empfindungen eine eigenthümliche Resultante entstehen sollte, diese durch die daneben fortbestehenden Componenten verdeckt werden könnte. Demnach ergibt, wenn wir jene vier Hauptqualitäten nach der oben gewählten Reihenfolge mit *Zu*, *Sa*, *Ac*, *Bi* bezeichnen, die Mischung $Zu + Sa$ keine bloße Verbindung *Zu Sa*, sondern eine Gesammtempfindung *Zu Sa m*, die bei geeignetem Verhältniss der Componenten, indem die Elemente *Zu* und *Sa* mit der Annäherung an diese Grenze schwächer werden, schließlich in *m* übergeht, wogegen die andern Verbindungen immer binär oder, wenn bei ihnen eine compensatorische Resultante existirt, vielleicht auch ternär zusammengesetzt bleiben. Denken wir uns demnach die vier Qualitäten *Zu*, *Sa*, *Ac*, *Bi* an den Ecken eines Vierecks als kleine Kreise gelagert, so können wir uns weiterhin diejenige Verbindung, bei der eine vollständige Aufhebung der Componenten möglich ist, durch eine ausgezogene, solche Verbindungen, die nur partielle Compensationen zulassen, durch unterbrochene, und endlich diejenigen, bei denen überhaupt nur Mischung und eventuell Verdrängung der einen Empfindung durch die andere stattfindet, durch punktirte Verbindungslinien versinnlichen. Auf diese Weise lässt die Fig. 163 leicht die bei dem System der Geschmacks-

empfindungen obwaltenden Verhältnisse überblicken. Nach den Analogien, die uns in Bezug auf Mischungen und Compensationen der Empfindung beim Geruchssinn begegnet sind, würden sich aber wahrscheinlich die Verhältnisse der Riechempfindungen in ähnlicher Weise darstellen lassen. Nur würden hier voraussichtlich die einzelnen Continua, wie *Zu*, *Sa*, *Ac* u. s. w., bedeutend größer sein, d. h. viel mannigfaltigere, wohl unterscheidbare Einzelqualitäten umfassen, und es würde außerdem eine größere Zahl solcher Qualitätenkreise vorhanden sein, zwischen denen die Verbindungen vollständiger, unvollständiger Compensation und bloßer Mischung stattfinden können. Demnach darf wohl die Fig. 163 zugleich als ein typisches Bild für die Eigenschaften dieser chemischen Sinne überhaupt gelten, wobei aber das System der Geschmacksempfindungen in Folge der Reduction seiner Bedeutung auf die für die Aufnahme der Nahrung wichtigen Empfindungsfunctionen in jeder Beziehung, sowohl mit Rücksicht auf die Zahl der Qualitäten wie auf die qualitativen Nuancen der einzelnen, die einfachsten Verhältnisse bietet. Auf der andern Seite führt dagegen hier jene locale Differenzirung der Empfindungen, die mit dem dem Organ beigeordneten Bewegungsmechanismus zusammenhängt, und die in der Unterscheidung und Auswahl der Nahrungsbestandtheile ihre teleologische Bedeutung hat, eigenthümliche Erscheinungen mit sich, die zugleich mit der engeren Verbindung dieses chemischen Sinnes mit dem Tastsinn zusammenhängen.

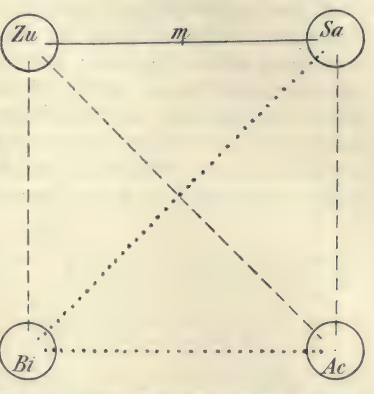


Fig. 163. Symbolische Darstellung der Grundempfindungen Süß (*Zu*), Salzig (*Sa*), Sauer (*Ac*) und Bitter (*Bi*).

3. Schallempfindungen.

a. Die Schallreize und die Formen der Schallempfindung.

Die periodischen Bewegungen der Luft, die sich im Gehörorgan in Reizbewegungen umsetzen, nennen wir im allgemeinen Schall. Wie alle periodischen Bewegungen, so können auch sie in regelmäßigen oder in unregelmäßigen Perioden vor sich gehen. Bei der regelmäßig periodischen Schallbewegung befindet sich die Luft in Schwingungen, deren während einer gegebenen Zeit immer gleich viele von gleicher Form auf einander folgen; bei der unregelmäßigen können die einzelnen Schwingungen in Dauer und Form beliebig verschieden sein. Man kann sich nun aber alle, auch die unregelmäßig periodischen Schwingungen der

Luft aus regelmäßig periodischen zusammengesetzt denken. Dies lässt sich leicht durch unmittelbare Zusammenfügung einer Anzahl regelmäßig periodischer Wellenzüge zeigen, die unregelmäßig neben einander herlaufen. Sind die Excursionen der oscillirenden Lufttheilchen nicht zu groß, was bei den Schallschwingungen im allgemeinen vorausgesetzt werden darf, so erhält man die resultirende Bewegung, die aus der Superposition der Schwingungen hervorgeht, wenn man die sämmtlichen einzelnen Wellenzüge addirt. Auf diese Weise ist in Fig. 164 durch Addition der punktirten und der unterbrochenen Curve die ausgezogene Wellenlinie erhalten worden: die letztere hat eine unregelmäßig periodische Form, während jede der beiden ersten eine regelmäßig periodische Bewegung darstellt. Da der Schall in der Form rasch auf einander folgender Verdichtungen und Verdünnungen durch die Luft fortschreitet, so ist die so gewonnene Construction natürlich nur ein Bild: man hat sich an Stelle der Wellenberge verdichtete, an Stelle der Wellenthäler verdünnte Schichten der Luft vorzustellen und überdies zu erwägen, dass jede solche Verdichtungs- und Verdünnungswelle nicht in einer Richtung, sondern nach allen möglichen Richtungen, also in Form einer Kugelwelle sich fortpflanzt, bei welcher die einzelnen Verdichtungen und Verdünnungen in concentrischen Kugelschalen auf einander folgen. Da nun durch Addition verschiedenartiger regelmäßig periodischer Schallwellenzüge, die sich, wie in Fig. 164, beliebig durchkreuzen, alle möglichen unregelmäßig periodischen Wellenformen zu erhalten sind, so ist klar, dass auch umgekehrt jede beliebige unregelmäßig periodische Welle in eine Anzahl regelmäßig periodischer aufgelöst werden kann. Diese Zerlegung, die scheinbar bloß eine mathematische Fiction ist, hat in der Natur der periodischen Bewegungen ihre gute Begründung. Jedes Massetheilchen, dessen Gleichgewicht durch eine momentane Erschütterung gestört wird, wird nämlich, so lange keine äußeren störenden Kräfte auf dasselbe einwirken, in regelmäßigen Perioden um seine Gleichgewichtslage schwingen. Wenn nun aber viele solche Erschütterungen in beliebiger Richtung auf einander folgen, so wird die resultirende Bewegung keine regelmäßige mehr sein können; doch wird sie sich immer in eine Anzahl regelmäßig oscillirender Bewegungen auflösen lassen, weil sich eben die ganze Reihe unregelmäßiger Anstöße aus einzelnen zusammensetzt, deren jeder regelmäßig periodische Oscillationen verursachen würde.

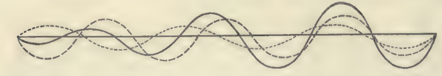


Fig. 164. Zerlegung unregelmäßig periodischer in regelmäßig periodische Schwingungen.

Wirken regelmäßig periodische Schallschwingungen auf unser Ohr

ein, so erzeugen sie eine Empfindung, die wir als Klang bezeichnen, wogegen wir die durch eine unregelmäßig periodische Luftbewegung hervorgerufene Empfindung Geräusch nennen. Alle regelmäßig periodischen Bewegungen können ferner in solche zerlegt werden, die dem einfachsten Gesetz regelmäßig periodischer Schwingungen, dem Gesetz unendlich kleiner Pendelschwingungen folgen. Nun bewegt sich ein Pendel im allgemeinen fortwährend um dieselbe, im Raum constant bleibende Gleichgewichtslage. Denken wir uns daher, ein Punkt schwinge nach dem Gesetz des Pendels hin und her, derselbe werde aber außerdem vorwärts bewegt, sodass seine Gleichgewichtslage fortschreitet, so beschreibt der Punkt eine einfache oder pendelartige Schwingungscurve, deren Entstehung man sich in folgender Weise versinnlichen kann. Man denke sich einen Punkt in der um c (Fig. 165) beschriebenen Kreislinie mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegt und einen Beobachter bei h aufgestellt, der den Kreis nur von der Kante, nicht von der Fläche aus sehen kann. Es wird dann diesem Beobachter der in der Kreislinie

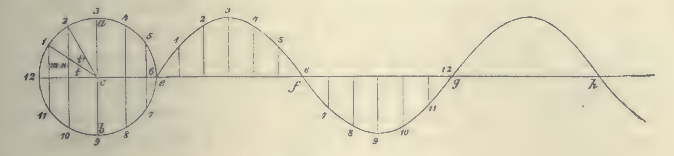


Fig. 165. Sinusschwingungen.

umlaufende Punkt so erscheinen, als ob er nur längs des Durchmessers ab auf- und abstiege: seine Bewegung wird aber dabei zugleich das Gesetz des Pendels innehalten. Zieht man von c aus Radien nach den Punkten *1*, *2* u. s. w., so entsprechen die Winkel t, t' den verflossenen Zeiträumen, und es ist, wenn man mit r den Radius des um c beschriebenen Kreises bezeichnet, $m = r \cdot \sin t$, $n = r \cdot \sin (t + t')$ u. s. w., d. h. die Entfernung der Punkte *1*, *2* u. s. w. von der Gleichgewichtslage ist proportional dem Sinus der verflossenen Zeit. Wegen dieser mathematischen Beziehung werden die pendelartigen Schwingungen auch Sinusschwingungen genannt. Um eine fortschreitende pendelartige oder Sinusschwingung darzustellen, theile man nun den einer ganzen Wellenlänge entsprechenden Raum eg in ebenso viele gleiche Theile wie die Peripherie des Kreises (hier in 12), und mache die Lothe auf den Theilpunkten der Linie eg der Reihe nach gleich denen, die in dem Kreis von den entsprechenden Theilpunkten *1*, *2*, *3* u. s. w. gefällt sind: die Curve cfg, welche diese Lothe verbindet, ist dann eine einfache, pendelartige Schwingungscurve.

Jede periodische Schwingungsform lässt sich aus einer bestimmten Anzahl einfacher Schwingungscurven von der hier dargestellten Form zusammensetzen. Aber damit die resultirende Schwingungsform eine regelmäßig periodische sei, müssen die Wellenlängen der einfachen Schwingungen, die addirt werden, in einem einfachen Verhältnisse stehen. Setzen wir die Wellenlänge der langsamsten Schwingungen = 1, so müssen also die Wellenlängen der schnelleren Schwingungen, die mit ihr addirt werden, = $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ u. s. w. sein. Im entgegengesetzten Fall wird die Schwingungsform eine unregelmäßig periodische wie in Fig. 164. Es lässt sich leicht durch Construction zeigen, dass man auf diese Weise die verschiedenartigsten regelmäßig periodischen Schwingungsformen aus einfach pendelartigen zusammensetzen kann, wenn man die Länge und Höhe der einzelnen Theilschwingungen wechseln lässt, je nachdem also z. B. die geradzahligen oder die ungeradzahligen Schwingungen überwiegen oder auch ganz wegfallen. Die Periode der ganzen Schwingungsform bestimmt sich dabei stets nach derjenigen Theilschwingung, welche die größte Wellenlänge besitzt. So sind in Fig. 166 verschiedene Schwingungsformen von gleicher Wellenlänge abgebildet. Die ausgezogenen Curven stellen die resultirenden Schwingungen, die unterbrochenen die einfachen, aus denen jene zusammengesetzt sind, dar. Die Form *A* ist eine der häufigsten: sie wird erhalten, wenn sich ein Ton mit einem etwas schwächeren von der doppelten Schwingungszahl verbindet. Auch die Form *B* ist nicht selten: sie entspricht solchen Klängen, bei denen jeder Ton mit einem schwächeren von der dreifachen Schwingungszahl vereinigt ist. Die Bedingungen zur Entstehung solcher zusammengesetzter Klangbewegungen sind aber bei allen Formen der Klangerzeugung in den Eigenschaften der klangerzeugenden Körper, der schwingenden Saiten, Stäbe, Membranen, Lufträume, ohne weiteres gegeben. Wenn wir z. B. eine Saite irgendwie in Schwingungen versetzen, so schwingt nicht nur die ganze, sondern in schwächeren Excursionen auch die halbe Saite, und dann in der Regel in immer mehr abnehmendem Grade auch der dritte,

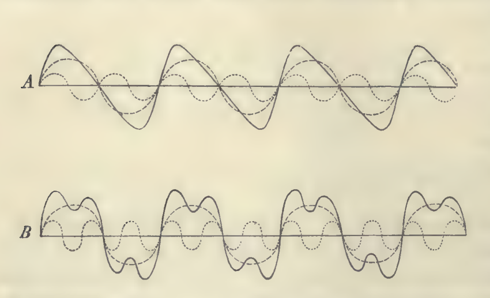


Fig. 166. Zerlegung complexer regelmäßiger Schwingungsformen in Sinusschwingungen.

vierte Theil derselben u. s. w. Aehnlich verhalten sich die Theile einer Membran, der Hohlraum einer Orgelpfeife u. dergl. Diese sämmtlichen einfachen Partialschwingungen verbinden sich dann in dem umgebenden Luftraum zu zusammengesetzten Schwingungsformen, ähnlich den in Fig. 166 gezeichneten, nur meist zusammengesetzter als diese, und wirken als solche auf unser Ohr ein. Einfache Sinusschwingungen kommen daher im allgemeinen überhaupt nicht vor. Doch können sich in gewissen Grenzfällen die wirklichen Schwingungen tönender Körper ihnen so sehr nähern, dass die Abweichungen nicht mehr zu bemerken sind.

Der pendelartigen Bewegung der Lufttheilchen entspricht nun eine Klangempfindung, die sich ebenfalls durch ihre Einfachheit auszeichnet: wir nennen dieselbe einen einfachen Klang oder einen Ton. In einem gewöhnlichen Einzelklang, z. B. in dem Klang einer Violin- oder Claviersaite, einer Orgelpfeife u. s. w., der auf einer regelmäßig periodischen, aber zusammengesetzten Luftbewegung beruht, lassen sich dagegen in der Regel mehrere solche einfache Töne deutlich unterscheiden: unter ihnen zeichnet sich der tiefste stets durch größere Stärke aus, nach ihm, dem Grundton, wird daher auch die Tonhöhe des Klangs bestimmt. Der ganze Klang aber besteht, außer aus diesem Grundton, aus einer gewissen Zahl von Obertönen, denen die zwei-, drei-, vierfache u. s. w. Schwingungszahl entspricht. Die verschiedene Stärke und Zahl dieser Obertöne ist es, von der die Klangfärbung der musikalischen und anderer Klänge abhängt. Ueberdies sind viele Klänge von Geräuschen begleitet, die aber (z. B. das Kratzen der Violinbogen, das Zischen der Orgelpfeifen u. s. w.) in die eigentliche Klangfärbung nicht eingehen. Das Ohr zerlegt somit den zusammengesetzten Klang ganz ebenso in einfache Klänge oder Töne, wie sich der objective Schwingungsvorgang aus einer Anzahl einfach pendelartiger Schwingungen zusammensetzt. Die stärkste dieser pendelartigen Schwingungen empfindet das Ohr als den Grundton des Klangs, die schwächeren als die Obertöne. Dieselbe Analyse erstreckt sich bis zu einem gewissen Grade auch auf die Geräusche. In den meisten Geräuschen vermögen wir deutlich einzelne Klänge zu unterscheiden. Niemals aber lässt sich ein Geräusch vollständig in einzelne Töne auflösen, sondern neben den etwa unterscheidbaren Tönen von bestimmter Höhe bleibt stets eine eigenthümliche, je nach der Beschaffenheit des Geräusches wechselnde Empfindung bestehen. Unsere Schallempfindungen folgen also in dieser Beziehung treu dem Verlauf der äußeren Reizbewegung: die gleichmäßig andauernde Schwingungsbewegung empfinden wir als stetigen Klang, die unregelmäßig wechselnde als unstetiges Geräusch; die regelmäßig periodische Schwingungsbewegung, den Klang, zerlegen wir in pendelartige einfache Schwingungen, in Töne, und bis zu

einem gewissen Grade sogar die unregelmäßig periodische Bewegung, das Geräusch, in regelmäßig periodische Schwingungen, Klänge.

Durch die geringe Stärke aller Theiltöne mit Ausnahme des Grundtons unterscheiden sich die Einzelklänge von den Zusammenklängen, die durch gleichzeitige Erzeugung mehrerer Klänge entstehen, und deren einzelne Bestandtheile völlig oder nahezu die gleiche Stärke besitzen. Da wir jedoch in der Empfindung den Klang in seine Theiltöne zerlegen können, und da anderseits auch die Zusammenklänge mehr oder minder einheitliche Verbindungen bilden, so besteht keine scharfe Grenze zwischen dem Einzel- und dem Zusammenklang. Nur der Umstand, dass die Obertöne eines Klangs eine bedeutendere Höhe im Verhältniss zum Grundton besitzen als die meisten Theilklänge eines Accords, und dass sie von viel geringerer Stärke sind, unterscheidet in der Regel beide hinreichend von einander. Den Klang empfinden wir noch als eine Qualität, und erst bei großer Aufmerksamkeit und Uebung erkennen wir die zusammengesetzte Natur desselben. Diese Klangqualität ist in den mittleren Tonhöhen und Klangstärken am deutlichsten ausgeprägt. Bei den tiefsten Tönen wird der Grundton zu schwach im Verhältniss zu den Obertönen, bei den höchsten überschreiten die letzteren die Grenzen der Wahrnehmbarkeit. Wird ferner ein Klang schwach angegeben, so verschwinden die die Klangfärbung bestimmenden Obertöne theilweise; bei sehr starken Klängen dagegen werden dieselben so stark, dass die für die Klangfärbung charakteristischen Unterschiede meistens undeutlicher sind. Je höhere Obertöne endlich einen Klang begleiten, um so geringer werden die relativen Unterschiede ihrer Schwingungszahlen. Bei Klängen, welche hohe und starke Obertöne enthalten, werden daher ähnliche Erscheinungen wie beim Zusammenklingen nahe bei einander liegender Grundtöne beobachtet: es entstehen scharfe Dissonanzen der Obertöne, die, wie bei der Trompete und andern Blechinstrumenten, eine schmetternde Klangfarbe hervorbringen. Andere Unterschiede des Klangs entstehen je nach dem Ueberwiegen der gerad- oder ungeradzahligen Obertöne, u. s. w. Auf diese Weise bilden die Klänge, Zusammenklänge und Geräusche eine fast unbegrenzte Mannigfaltigkeit qualitativer Empfindungscomplexe, die jedoch auf eine verhältnissmäßig kleine Anzahl einfacher Qualitäten zurückführen: auf die einfachen Tonempfindungen und, sofern bei der Analyse der Geräusche specifische Empfindungen übrig bleiben sollten, die nicht in Töne aufzulösen sind, auf die einfachen Geräuschempfindungen. Da uns die Verbindung der Empfindungen zu Vorstellungen erst in dem nächsten Abschnitt beschäftigt, so werden auch dort erst die verschiedenen Formen der Klänge, Zusammenklänge und Geräusche zu erörtern sein (Cap. XII). Doch werden wir nicht

umhin können, schon hier insoweit auf das Gebiet der Zusammenklänge überzugreifen, als diese selbst die Bedingungen zur Entstehung von Empfindungen in sich enthalten. Solche aus der Verbindung von Tönen resultirende Empfindungen sind die Schwebungen und die Combinationstöne.

Die Thatsache der Klangzerlegung durch das Ohr schließt selbstverständlich noch keineswegs die Folgerung in sich, dass nun auch ein Klang und ein Zusammenklang in der Empfindung nichts anderes seien als Additionen einzelner Tonempfindungen. Auf die Frage, inwiefern sich die hierbei aus der Summe der Empfindungen entspringende Resultante von einer solchen bloßen Addition unterscheidet, werden wir aber erst eingehen können, wenn wir die aus dem Zusammenwirken der Töne und Klänge entstehenden physikalischen und physiologischen Effecte näher kennen gelernt haben. Hier sei nur hervorgehoben, dass in einer Beziehung, in welcher man neben den Einzeltönen eines Klangs dem aus ihnen gebildeten Ganzen einen Einfluss auf die Empfindung zuschreiben könnte und in der That zugeschrieben hat, ein solcher zweifelhaft oder mindestens an gewisse Bedingungen geknüpft ist. Wenn man nämlich die Partialtöne eines Klangs successiv in wechselnde Phasenverhältnisse zu einander bringt, so z. B. dass man zusammen mit dem Grundton seine Duodecime (1 : 3) erklingen lässt, in einem ersten Fall aber beiden Tönen ein übereinstimmendes Phasenverhältniss gibt, wie in Fig. 166 *B*, in einem zweiten den höheren Ton gegen den tieferen um eine halbe Wellenlänge verschiebt, so dass die punktirte Curve in *B* mit einem Wellenthal anfängt, so überzeugt man sich leicht durch die Construction, dass zwar die Periode der zusammengesetzten Schwingungen dieselbe bleibt, dass aber die Addition der Curven jedesmal eine andere Wellenform ergibt. Nun sah Helmholtz, als er geringe solche Phasenverschiebungen eines Grundtons und einzelner seiner Obertöne durch Veränderung der Dimensionen der Resonanzröhren, vor denen Stimmgabeln in Schwingungen versetzt wurden, künstlich erzeugte, keinerlei Aenderungen in der Klangfarbe eintreten[1]. Dagegen beobachtete R. König, als er in einer Sirene Scheiben, an deren Peripherie verschiedene Wellenformen ausgeschnitten waren, anblies, dass sich der Klangcharakter mit der Wellenform veränderte, und er schrieb daher der Gesammtform der Welle und somit auch den durch Phasenverschiebungen eintretenden Aenderungen dieser Form neben den Obertönen einen Einfluss auf die Klangfarbe zu[2]. Anderseits fand jedoch wieder L. Hermann, in Uebereinstimmung mit dem Ergebniss von Helmholtz, als er am Edison'schen Phonographen einen Klang bei entgegengesetzter Drehrichtung des Cylinders hörte, wobei eine Umkehrung aller Phasen und somit eine völlige Veränderung ihres Verhältnisses eintreten musste, dass die Klangfarbe ganz und gar unverändert blieb[3]. Die Ausgleichung dieser Widersprüche liegt wohl darin, dass die Obertöne eines Klangs, wenn sie, wie gewöhnlich, von geringer

---

[1] Helmholtz, Lehre von den Tonempfindungen[4], S. 194 ff.
[2] R. König, Wiedemanns Annalen, Bd. 39, 1891, S. 403. Bd. 57, 1897, S. 339, 555.
[3] Hermann, Pflügers Archiv, Bd. 56, 1895, S. 467. Wiedemanns Annalen, Bd. 58, 1897, S. 391.

Intensität sind, nur als einfache Töne wirken, dass sie dagegen bei größerer Stärke außerdem resultirende Töne, die Combinationstöne, erzeugen können, die dann Schwebungen (Tonstöße) mit einander bilden (vgl. unten c). Ist demnach auch anzunehmen, dass die Theiltöne eines Klanges als solche unabhängig von ihrem Phasenverhältniss die Empfindung bestimmen, so verhält sich das jedenfalls anders, sobald solche secundäre Phänomene auftreten. Da nämlich die Schwebungen, wie wir sehen werden, wesentlich von dem Phasenverhältniss der schwebenden Töne abhängen, so müssen sie auch durch eine Aenderung dieses Verhältnisses den Klangcharakter verändern. Es ist aber nicht unwahrscheinlich, dass bei den starken Klängen der König'schen Wellensirene die Bedingungen zu einer solchen Entstehung von Differenz- und vielleicht auch von sogenannten Unterbrechungstönen (siehe unten c) gegeben waren[1]. Demnach werden wir von diesem Einfluss der Wellenform auf die Klangfarbe im Folgenden abstrahiren können, da derselbe, wo er überhaupt stattfindet, doch wieder auf die allgemeinen Bedingungen des Zusammenwirkens der einzelnen einfachen Partialtöne zurückführt.

b. Die Tonempfindungen.

Der einfache Klang oder Ton unterscheidet sich von den gewöhnlichen Einzelklängen, den Zusammenklängen und den Geräuschen dadurch, dass er eine schlechthin einfache, nicht weiter zerlegbare Qualität ist. In der Wirklichkeit begegnen wir nun freilich absolut einfachen Tönen niemals, und auch relativ einfachen, d. h. solchen Klängen, in denen die Obertöne gegenüber dem Grundton unmerklich werden, selten. Von den Klängen musikalischer Instrumente nähern sich am meisten die der Labialpfeifen der Orgeln diesem Grenzfall. Näher noch kommt man demselben, wenn man eine Stimmgabel auf einem an der einen Seite offenen Resonanzkasten befestigt, der genau auf den Grundton der Gabel abgestimmt ist (Fig. 169). Streicht man eine solche Stimmgabel an ihren freien Enden mit einem Violinbogen, oder schlägt man mit einem Kautschukhammer an eine ihrer Branchen an, so sind zwar während des Streichens oder Schlagens in der Regel noch Geräusche und höhere Obertöne vernehmbar, beim Ausklingen aber hört man den Grundton als eine reine, einfache Klangempfindung, neben der nur bei großer Stärke der Schwingungen oder bei ungünstiger Form der Stimmgabeln die nächsten Obertöne noch merklich mitklingen. Diese einfache Tonempfindung ist in ihrer Qualität lediglich durch diejenige Eigenschaft bestimmt, die wir die Tonhöhe nennen. Neben ihr und der selbständig veränderlichen Tonstärke, die von der Amplitude der Schwingungen abhängt, ist keinerlei Unterschied der Empfindung zu bemerken. Mittelst

[1] Vgl. E. ter Kuile, Einfluss der Phasen auf die Klangfarbe. Pflügers Archiv, Bd. 89, 1902, S. 333 ff.

solcher Gabeln lassen sich daher, wenn man ihre Dimensionen variirt, alle möglichen Tonhöhen als einfache Klangqualitäten hervorbringen; und wenn man auch noch die kleineren Veränderungen durch Belastung der Stimmgabelbranchen mit kleinen Gewichten oder durch Ankleben von Wachs vornimmt, so lässt sich auf diese Weise eine continuirliche Serie von Tonquellen herstellen, welche die Gesammtheit der unserem Ohr verfügbaren Tonqualitäten einschließt. Hierbei erscheint dann jene Veränderlichkeit der Tonqualität, die wir die Tonhöhe nennen, als eine vollkommen stetige, die sich innerhalb einer einzigen Dimension bewegt. Von einem gegebenen Punkt aus ist diese einfache Tonempfindung immer nur nach zwei entgegengesetzten Richtungen veränderlich, ebenso wie die objective Schwingungszahl nur nach den zwei Richtungen der Zu- und der Abnahme der Schwingungen verändert werden kann: der Zunahme entspricht in der Empfindung die Erhöhung, der Abnahme die Vertiefung des Tones. Demnach können wir uns das gesammte System der Tonqualitäten durch eine einzige gerade Linie dargestellt denken, und wir können dieses eindimensionale Continuum der Tonempfindungen als die Tonlinie bezeichnen. Wollten wir auch noch die Intensitäten der Töne berücksichtigen, so würden diese, da jede Tonhöhe, d. h. jeder Punkt auf der Tonlinie, wieder alle innerhalb unserer Empfindungsgrenzen möglichen Intensitäten durchlaufen kann, in einer auf der Tonlinie senkrechten zweiten Dimension dargestellt werden können, so dass sich jene in eine Tonebene verwandelte.

Nun verwendet bekanntlich die Musik nicht alle Töne, die uns auf der Tonlinie unserer Empfindungen zur Verfügung stehen. Nachdem sie einen Ausgangston gewählt hat, wechselt sie bei den auf einander folgenden Tönen einer Melodie nicht zwischen ganz beliebigen Punkten des Toncontinuums, sondern schreitet stets in bestimmten größeren Intervallen auf und ab. Auf diese Weise geht die Tonlinie bei der musikalischen Verwendung der Töne in die Tonscala über. Wenn nun aber auch der jedesmal gewählte Ausgangspunkt auf der Tonlinie und die besondere Form der Intervallbewegung willkürlich sind, so beruht diese Bewegung in bestimmten größeren Tonstufen an sich doch keineswegs bloß auf einer willkürlichen Erfindung, sondern sie hängt offenbar mit den natürlichen Eigenschaften unserer Tonempfindung und unserer eigenen Klangerzeugung bei der Anwendung der Stimmtöne in Sprache und Gesang innig zusammen. Dies ergibt sich daraus, dass nicht bloß alle Völker, und dass bis zu einem gewissen Grade sogar schon die Singvögel bei ihrem Gesang solche Intervalle anwenden, sondern dass auch die gewöhnliche Sprache dieselben als natürliche Ausdrucksmittel verwerthet, z. B. als steigendes Intervall bei der Frage oder bei der Aufforderung, als sinkendes am

Schluss der Aussage[1]. Nicht irgend eine gegebene Tonscala, die immer conventionell ist, wohl aber die Thatsache, dass der Mensch, obgleich seine Tonempfindungen eine continuirliche Linie bilden, unter dem Einflusse gewisser Gefühlsmotive sich in bestimmten Intervallen auf dieser Linie bewegt, ist demnach eine natürliche Eigenschaft, die zugleich, abgesehen von den allgemeineren psychophysischen Bedingungen, mit der Natur unserer Tonempfindungen zusammenhängen muss. Letzteres ergibt sich weiterhin auch daraus, dass, so weit im übrigen die verschiedenen Intervallbewegungen von einander abweichen mögen, doch die relativen Werthe derselben immer wieder dieselben sind, wobei sie zugleich mit den Verhältnissen der objectiven Schwingungszahlen der Töne in einer überaus einfachen Beziehung stehen. Jenen regelmäßigen Intervallen der Tonbewegung entsprechen nämlich stets einfache Verhältnisse der Schwingungszahlen, die zugleich in allen Theilen der Tonlinie, also in den verschiedensten Höhen der Tonscala, dieselben bleiben. So ist z. B. das Verhältniss der Schwingungszahlen:

für die	Octave	1 : 2,	für die	Sexte	3 : 5,
» »	Duodecime	1 : 3,	» »	große Terz	4 : 5,
» »	Quinte	2 : 3,	» »	kleine Terz	5 : 6.
» »	Quarte	3 : 4,			

Diese Verhältnisse bleiben ungeändert, wie auch die absoluten Schwingungszahlen sich ändern mögen. Auch sind wir im stande meist ohne viele Uebung jene relativen Intervalle der Tonhöhe wiederzuerkennen, während eine nur selten vorkommende individuelle Anlage und längere Einübung erforderlich sind, um die absolute Höhe eines Tons nach seiner musikalischen Bezeichnung zu bestimmen. Darum kann die absolute Stimmung eines musikalischen Instrumentes beträchtlich variiren, ohne dass wir dies wahrnehmen, während wir kleine Abweichungen von der Stimmung nach regelmäßigen Intervallen sogleich empfinden. Nun sieht man aber sofort, dass die Beziehung, die sich hier zwischen den objectiven Verhältnissen der Schwingungszahlen und den subjectiven unserer Auffassung der Intervalle vorfindet, die nämliche ist, die wir auch bei der messenden Vergleichung der Empfindungsintensitäten unter dem Namen des WEBER'schen Gesetzes kennen lernten. In der That haben sich daher, lange bevor FECHNER dieses Gesetz in der Form einer logarithmischen Function darzustellen versuchte, die Akustiker des nämlichen Ausdrucks für die Beziehung der Schwingungszahlen zu den Tonintervallen bedient. Bezeichnet man nämlich mit H die Tonhöhe, mit S die Schwingungszahl des gegebenen

[1] Vgl. Völkerpsychologie, Bd. 1, I, S. 256. II, S. 400.

Tons, ferner mit b diejenige des tiefsten Tons der Tonreihe, und endlich mit K eine näher zu bestimmende Constante, so ist nach dem Intervallgesetz

$$H = K \cdot log\ nat \frac{S}{b}.$$

Gemäß dem früher (Bd. 1, S. 498) festgestellten Sinn der Maßformel würde hier b den Schwellenwerth des Reizes, d. h. die Schwingungszahl bedeuten, bei der die Tonempfindung beginnt. Man kann aber dafür auch diejenige Schwingungszahl wählen, bei der man die Tonreihe willkürlich beginnen lässt, wodurch dann nur die Constante K jedesmal mit den Veränderungen des Werthes von b andere Werthe annimmt[1].

Diese Analogien haben der Vermuthung Raum gegeben, für die Empfindung der Tonhöhen in ihrer Beziehung zu den Schwingungszahlen der Töne sei überhaupt das nämliche Gesetz maßgebend, das die Empfindungsintensitäten in ihrer Beziehung zu den Reizstärken beherrscht, und die Entstehung der Tonintervalle selbst beruhe daher auf einer speciellen und besonders augenfälligen Anwendung dieses Gesetzes. Solange man das WEBER'sche Gesetz direct auf eine naturgesetzliche, sei es physiologische sei es psychophysische, Beziehung der Empfindungen zu den Reizen bezog, lag dies in der That nahe genug; denn jene Auffassung führte von selbst zu der Annahme, gleiche musikalische Tonintervalle seien ohne weiteres gleichen absoluten Unterschieden der Tonqualität äquivalent. In diesem Sinne hatte WEBER selbst bereits die Tonintervalle mit seinen Versuchen über die Schätzung von Gewichtsunterschieden in unmittelbare Verbindung gebracht, und nicht minder betrachtete FECHNER dieselben ursprünglich als einen wichtigen Beleg für die Allgemeingültigkeit des WEBER'schen Gesetzes. Aber da das letztere, wie namentlich die in dem MERKEL'schen Gesetz zum Ausdruck kommenden Verhältnisse erkennen lassen (Bd. 1, S. 504), auf das engste mit der Auffassung der I n t e n s i t ä t der Empfindungen zusammenhängt, so ist seine Uebertragung auf die Tonqualitäten nicht ohne weiteres erlaubt. Ueberdies kann in den Verhältnissen der Tonintervalle schon deshalb keine directe Bestätigung derselben gesehen werden, weil die Feststellung der musikalischen Intervalle zunächst nicht von unserer unmittelbaren Empfindung der Tonqualitäten, sondern, wie sich im nächsten Abschnitt zeigen wird, von den Bedingungen der Consonanz und Dissonanz der

[1] Der Erste, der die Logarithmen auf das Verhältniss der Töne anwandte, scheint EULER gewesen zu sein, Tentamen novae theoriae musicae. 1739, p. 73. Vgl. auch HERBART, Ueber die Tonlehre. Werke, Bd. 7, S. 224 ff. Eine Berechnung der Logarithmen aller musikalisch angewandten Schwingungszahlen hat SCHUBRING geliefert. (SCHLÖMILCH, KAHL und CANTOR, Zeitschrift für Mathematik und Physik, 13. Suppl., S. 105.)

Töne abhängt. Unter diesen Umständen bedarf daher die Frage der Beziehungen zwischen Empfindungsänderung und Aenderung der Schwingungszahlen einer directen Beantwortung; erst auf Grund einer solchen wird sich dann möglicher Weise auch die Bedeutung jenes Intervallgesetzes selbst näher bestimmen lassen.

Wird nun diese Untersuchung mit Hülfe der verschiedenen früher erörterten psychischen Maßmethoden (Bd. 1, S. 466 ff.) ausgeführt, so zeigt zunächst die mittelst der Methode der Minimaländerungen gefundene Unterschiedsschwelle für zwei dem Einklang nahestehende Töne, dass der Gehörssinn für die qualitative Unterscheidung der ihm homogenen Reize, im Gegensatze zu seiner unvollkommenen Auffassung von Intensitätsunterschieden (ebend. S. 509), eine außerordentlich hohe Empfindlichkeit besitzt. In den mittleren Höhen der musikalischen Scala können selbst von einem ungeübten, aber akustisch normal entwickelten Gehör successiv angegebene Töne unterschieden werden, die nur um wenige Schwingungen in der Secunde differiren, und ein durch öfter wiederholte Versuche eingeübtes Ohr vermag den Unterschied noch zu erkennen, wenn er nur Bruchtheile einer Schwingung beträgt. Die Vergleichung successiv angegebener Töne ist hierbei unerlässlich, weil bei dem gleichzeitigen Erklingen Schwebungen entstehen, an denen sich der Höhenunterschied der Töne auch dann verräth, wenn er nicht unmittelbar in der Empfindung aufgefasst wird. (Vgl. unten c.) Die folgende von PREYER gegebene Zusammenstellung enthält die auf diesem Wege von verschiedenen unabhängigen Beobachtern gewonnenen Resultate. Dabei bezeichnen s und s' die Schwingungszahlen der beiden verglichenen Töne, $d = s - s'$ ist die absolute Unterschiedsschwelle, $r = \frac{s}{d}$ misst demnach die relative Unterschiedsempfindlichkeit[1].

Beobachter	s	s'	d	r
DELEZENNE	120,209	119,791	0,418	287
SEEBECK	440	439,636	0,364	1212
PREYER	500,3	500	0,300	1666
	1000,5	1000	0,500	2000

Schon diese Reihe zeigt deutlich, dass, im Widerspruch mit der Forderung des WEBER'schen Gesetzes, nicht die relative Unterschiedsempfindlichkeit r, sondern eher die absolute d bei verschiedenen Tonhöhen annähernd constant bleibt. Doch erstrecken sich die Beobachtungen auf zu wenige Tonhöhen, und sind überdies, da sie von verschiedenen Beobachtern herrühren, nicht direct mit einander vergleichbar. Vollkommen überzeugend ergibt sich aber das nämliche Resultat aus Versuchen

[1] PREYER, Die Grenzen der Tonwahrnehmung. 1876, S. 26 ff.

von E. LUFT[1], bei denen zugleich die Methode der Minimaländerungen strenger eingehalten war. Hier nahm die relative Unterschiedsempfindlichkeit von den tiefen zu den hohen Tönen zuerst rasch und dann langsamer zu, während die absolute zuerst wuchs, um dann innerhalb der mittleren Tonhöhen nahezu vollkommen constant zu bleiben und erst bei den hohen Tönen abermals abzunehmen. Zugleich fand sich aber die Unterschiedsschwelle wesentlich kleiner, nur etwa halb so groß als in PREYERS Versuchen. In den mittleren Höhen der musikalischen Scala konnten nämlich successiv erklingende Töne noch unterschieden werden, wenn ihr Unterschied nur $^1/_4$—$^1/_5$ einer Schwingung betrug[2]. Die folgende Tabelle gibt eine Uebersicht der Schätzungen eines Beobachters (LUFT). d_o bedeutet die obere, d_u die untere, d die mittlere Unterschiedsschwelle (Bd. 1, S. 476), $r = \frac{s}{d}$ die relative Unterschiedsempfindlichkeit; unter v_o und v_u sind die mittleren Variationen der Schätzungen d_o und d_u angegeben. Die Versuche sind mit Stimmgabeln auf Resonanzräumen ausgeführt, deren eine, die Normalgabel, unverändert blieb, während die andere, die Vergleichsgabel, durch ein an einer Millimetereintheilung verschiebbares Laufgewicht verstimmt werden konnte. Die Einflüsse der Zeitlage sind in den mitgetheilten, aus 16 Versuchen gewonnenen Zahlen durch Mittelziehung eliminirt worden.

s	d_o	d_u	v_o	v_u	d	r
64	0,151	0,147	0,027	0,032	0,149	430
128	0,168	0,150	0,047	0,035	0,159	805
256	0,202	0,261	0,061	0,052	0,232	1103
512	0,230	0,272	0,040	0,046	0,251	2040
1024	0,256	0,179	0,101	0,081	0,218	4697
2048	0,376	0,347	0,144	0,158	0,362	5657

Die Werthe von d zeigen, dass innerhalb der musikalisch und namentlich für den Gesang am häufigsten verwendeten Tonhöhen von 256 bis 1024 Schwingungen die absolute Unterschiedsschwelle fast völlig constant ist.

Da wir, wie die Abstufung der Intervalle der musikalischen Scala zeigt, größere Tonstrecken unter geeigneten Bedingungen viel genauer vergleichen können, als dies jemals bei Intensitätsunterschieden möglich ist, so liegt nun darin schon eine Aufforderung, auch die Methode der

[1] E. LUFT, Philos. Stud. Bd. 4, 1888, S. 511 ff.

[2] Musikalisch geübte und ungeübte Beobachter verhalten sich in dieser Beziehung, nachdem erst die unerlässliche Versuchsübung vorübergegangen ist, vollkommen gleich, abgesehen natürlich von Fällen abnormer Unempfindlichkeit. Der große Werth, der in früheren Beobachtungen auf das Moment der musikalischen Uebung gelegt wurde, hat hier wie in andern Fällen lediglich in der Art der Ausführung derselben, bei der es zu einer erheblichen Versuchsübung überhaupt nicht kommen konnte, seinen Grund.

mittleren Abstufungen (Bd. 1, S. 471) auf die Tonlinie anzuwenden. Doch liegt eben deshalb zugleich eine Gefahr nahe, der von vornherein durch die Auswahl der verglichenen Tonstrecken vorgebeugt werden muss. Wollte man nämlich bloß solche Intervalle wählen, bei denen der untere und der obere Normalton einem bestimmten Intervall der musikalischen Scala entspräche, so würde offenbar der mittlere Ton zwischen beiden möglicher Weise nicht durch eine directe Vergleichung der Tonstrecken, sondern vermittelst der Association mit irgend einem bekannten, zwischenliegenden musikalischen Intervall bestimmt werden können. Es ist daher, um diesen Einfluss zu ermitteln, nothwendig, die Versuche so auszuführen, dass ebensowohl beliebige, irrationale, wie einfache, musikalische Intervalle geboten werden. Allgemein werden demnach die Versuche so ausgeführt,

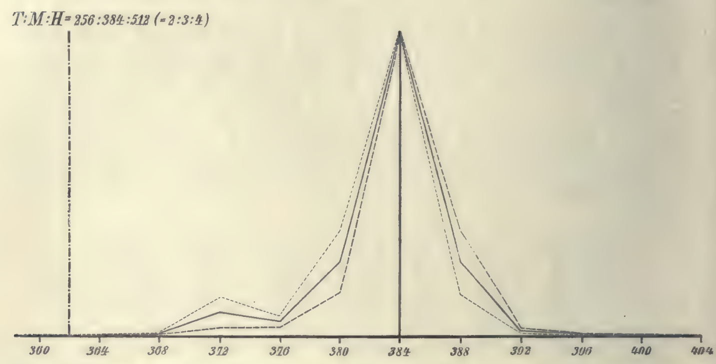


Fig. 167. Halbirung einer Tonstrecke bei einfachem Verhältniss der Schwingungszahlen (2 : 3 : 4).

dass man dem Beobachter die Aufgabe stellt, zwischen zwei gegebenen um ein beliebiges Intervall entfernten Tönen t und h einen Ton m' zu finden, der als der mittlere zwischen t und h geschätzt wird. Solche Theilungen von Tonstrecken sind allerdings am leichtesten bei den durch musikalische Erfahrung geläufigen Intervallen der Tonscala vorzunehmen; doch gelingt es nach einiger Uebung gut, und immer noch viel vollkommener als bei der Anwendung der gleichen Methode auf Schallintensitäten, die Eintheilung auch dann auszuführen, wenn die Töne t, h und m' keine musikalischen Intervalle mit einander bilden. Da in den letzteren Fällen die Tonschätzung von dem Einfluss der Gewöhnung an bestimmte Tonstufen frei ist, so werden aber gerade solche Versuche ein zuverlässigeres Bild der nach der reinen Empfindung vorgenommenen

Eintheilung der Tonstrecken geben. Um zugleich den Einfluss der Zeitlage zu eliminiren, bediente sich ferner C. LORENZ[1] in seinen sich über ein weites Tongebiet (von 32 bis 1024 Schwingungen) erstreckenden Versuchen nicht der regelmäßigen Abstufung, sondern des Verfahrens der unregelmäßigen Variation des mittleren Reizes (Bd. 1, S. 479). Demnach wurde in jeder Versuchsgruppe zwischen einem constant bleibenden tiefen und hohen Ton, t und h, ein mittlerer m_v, welcher variabel war, bald in der Richtung $t\, m_v\, h$, bald in der entgegengesetzten $h\, m_v\, t$ eingeschaltet, und auf diese Weise derjenige Ton m' bestimmt, der nach dem Ergebniss aller Schätzungen der Mitte zwischen t und h entsprach. Auch hier sind solche Eintheilungen, wie bei der Intensitätsschätzung, nur möglich, so lange der Umfang der Tonstrecken eine gewisse Grenze

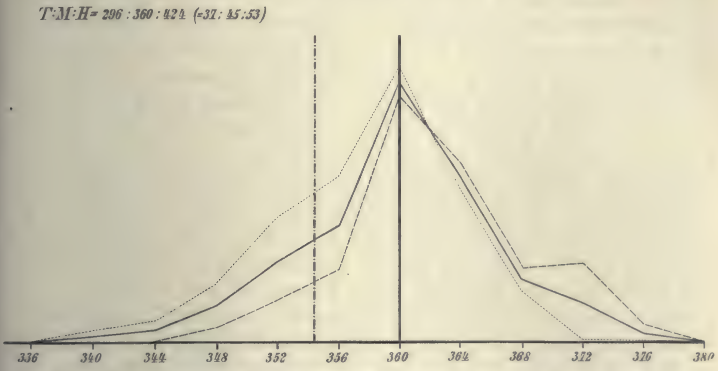


Fig. 168. Halbirung einer Tonstrecke bei zusammengesetztem Verhältniss der Schwingungszahlen (37 : 45 : 53).

nicht überschreitet: entfernen sich t und h um mehr als etwa 2 Octaven, so wird die Bestimmung sehr unsicher. Innerhalb dieser Grenzen zeigt sich aber, dass die geschätzte Tonmitte m' mit der wirklichen absoluten Tonmitte m entweder vollständig oder doch sehr nahe zusammenfällt, und von der nach der Abstufung der musikalischen Tonintervalle zu erwartenden relativen Tonmitte erheblicher abweicht. Diese Thatsache bestätigt sich in allen Fällen, mögen die Töne t, m, h musikalische Intervalle bilden, oder in einem beliebigen unharmonischen Verhältnisse zu einander stehen; doch pflegt im ersteren Fall die richtige Mitteschätzung genauer zu sein als im zweiten. Die in Fig. 167 und 168 graphisch

[1] C. LORENZ, Philos. Stud. Bd. 6, 1891, S. 26 ff.

wiedergegebenen Resultate zweier Versuche veranschaulichen dieses Verhältniss. Die Schwingungszahlen sind auf einer Abscissenlinie aufgetragen, die Höhe der Ordinaten entspricht den zugehörigen Procentzahlen der Mitteschätzungen, die ausgezogene Verticallinie der absoluten, die unterbrochene der relativen Mitte zwischen t und h. Die ausgezogene Curve gibt die Mittelzahlen aus beiden Zeitlagen, die unterbrochene entspricht der Zeitfolge $t\, m_v\, h$, die punktirte der umgekehrten $h\, m_v\, t$. Die Fig. 167 repräsentirt die Schätzungen bei den harmonischen Intervallen 256 : 384 : 512 (= 2 : 3 : 4), die Fig. 168 entspricht den unharmonischen 296 : 360 : 424 (37 : 45 : 53). Die ungenauere Schätzung im letzteren Fall spricht sich darin aus, dass viele Mitteschätzungen diesseits wie jenseits der absoluten Mitte vorkommen, so dass die Curve allmählicher zu ihrem mit m zusammenfallenden Maximum ansteigt. In Bezug auf den Einfluss der Zeitfolge lehrt das Lageverhältniss der unterbrochenen und der punktirten Linien übereinstimmend, dass man in diesen Fällen bei aufsteigender Folge geneigt war, die tiefer liegenden variabeln Töne relativ tiefer und die höher liegenden höher zu schätzen, als bei absteigender. Doch finden sich in dieser Beziehung nicht nur individuelle Abweichungen, sondern auch solche in den verschiedenen Reihen der nämlichen Versuchsperson. In ihrem Endergebniss bestätigen somit diese Beobachtungen das mittelst der Minimalmethode gewonnene Resultat, dass Strecken auf der Tonlinie nach absoluten, nicht nach relativen Unterschieden geschätzt werden, dass also für die Tonqualitäten das WEBER'sche Gesetz nicht gilt. Sie bestätigen dieses Resultat für den Fall, wo die verglichenen Tonstrecken größere, den musikalischen Intervallen entsprechende Werthe erreichen. Die Versuche zeigen aber weiterhin, dass, sobald die so nach ihren absoluten Werthen verglichenen Tonstrecken selbst mit musikalischen Intervallen zusammenfallen, die Schätzung derselben eine weit exactere ist, als wo es sich um beliebige andere Tondistanzen handelt. Dieses letztere Ergebniss kann nun in doppeltem Sinne gedeutet werden. Es kann erstens die erworbene Uebung in den Intervallen der Tonscala hierbei der Vergleichung zu Hülfe kommen; es kann aber auch zweitens unsere Eigenschaft, Tonstrecken nach ihrem absoluten Werthe zu vergleichen, selbst schon auf die Bildung der musikalischen Intervalle eingewirkt haben. Den ersteren Einfluss wird man bei musikalisch geübten Individuen ohne weiteres als einen selbstverständlichen anerkennen müssen. Aber auch den zweiten, umgekehrten Einfluss legt schon der Umstand nahe, dass jene absolute Tonvergleichung für Tonstrecken, die ganz außerhalb irgend welcher musikalisch verwendbarer Intervalle liegen, ebenfalls zutrifft; und dieser Schluss wird durch die Beobachtung bestätigt, dass musikalisch völlig ungeübte Personen, normale Gehörsanlage voraus-

gesetzt, jene Bevorzugung der musikalischen Intervalle durch exactere Theilung der ihnen entsprechenden gleichen Tonstrecken fast im selben Maße wie musikalisch geübte selbst bei vollkommen obertonfreien Klängen erkennen lassen, unter Bedingungen also, welche die später zu betrachtenden Einflüsse der Partialtöne auf die Consonanz ausschließen. Alle diese Umstände führen uns zu der Folgerung, dass die Eintheilung von Tonstrecken nach gleichen absoluten Unterschieden der Empfindung selbst zu den Momenten gehört, die bei der Bildung der harmonischen Intervalle wirksam gewesen sind. Wie und in welchem Maße sie bei dieser mitgewirkt hat, wird erst in Verbindung mit den sonstigen, dem Gebiet der Vorstellungsbildung angehörenden Bedingungen der Entstehung harmonischer Tonfolgen und Zusammenklänge erörtert werden können (vgl. unten Cap. XII). Für die Auffassung und Vergleichung der Tonempfindungen als solcher sind aber die gleichen Gesichtspunkte, die früher hinsichtlich der auf dem Intensitätsgebiete diesen Erscheinungen analogen Befunde des MERKEL'schen Gesetzes geltend gemacht wurden, natürlich auch hier maßgebend. Wenn für die Schätzung der Tonstrecken nicht die Vergleichungsfunction $V_r = \frac{k \Delta E}{E}$, sondern $V_a = k \cdot \Delta E$ gilt (Bd. 1, S. 547), so ist eben darin auch schon eingeschlossen, dass bei dieser Vergleichung nicht die Schwingungszahlen der Töne in Frage kommen, von denen wir ebenso wenig wie von den mit der Wage oder mit Phonometer und Photometer gemessenen objectiven Druck-, Schall- und Lichtstärken etwas wissen, sondern dass wir die Empfindungen als solche nach absoluten, nicht nach relativen Unterschieden vergleichen. Rücksichtlich des Verhältnisses der Empfindungen zu den objectiven Reizen führt dann aber allerdings die Einfachheit der gefundenen Beziehung zugleich zu der Folgerung, dass in den Grenzen, in welchen diese Vergleichung nach absoluten Unterschieden zutrifft, die Aenderungen in der Höhenempfindung der Töne den absoluten Aenderungen der Schwingungszahlen direct proportional sind. Doch weisen die Abweichungen bei den tiefsten und höchsten Tönen auch hier auf gewisse Grenzen hin, jenseits deren diese Proportionalität nicht mehr gilt. Dabei ist es bemerkenswerth, dass dies ungefähr die nämlichen Grenzen sind, jenseits deren auch unsere Auffassung der musikalischen Intervalle unsicherer wird.

Wie sich der Begriff der Unterschiedsschwelle oder der bei der Intervallmethode für ihn eintretende der Empfindungsstrecke vom Gebiet der Empfindungsstärken ohne weiteres auf das der Tonqualitäten übertragen lässt, bei dem es sich ja eben, wie dort, um ein streng eindimensionales Continuum der Empfindungen handelt, so hat nun schließlich auch der Begriff der Reizschwelle, mit den für ihn durch die Umstände

gebotenen Modificationen, bei den Tonempfindungen seine Bedeutung. Dabei bringt es nämlich die Eigenthümlichkeit der Reizform in diesem Falle mit sich, dass dieser Begriff in einem doppelten Sinne angewandt werden kann. Erstens kann man unter ihm diejenigen absoluten Schwingungszahlen der Töne verstehen, jenseits deren keine Tonempfindung mehr stattfindet; und zweitens kann man die Zeit, während deren ein Ton einwirken muss, also, da diese Zeit der Zahl einwirkender Schwingungen proportional ist, die Zahl der zur Erzeugung einer bestimmten Tonempfindung erforderlichen Schwingungen als einen solchen Schwellenbegriff betrachten. Der erste dieser Begriffe führt wieder zu zwei entgegengesetzt liegenden Werthen, die wir die beiden Höhenschwellen der Töne nennen wollen, einer unteren, der Schwelle der tiefsten, und einer oberen, der Schwelle der höchsten hörbaren Töne. Die zweite Art der Schwelle, die Zeitschwelle, ist dem gegenüber für jeden Ton eine besondere: sie entspricht der Anzahl von Schwingungen, bei der diese die Tonqualität erkennen lassen.

Um die Höhenschwellen des Tones oder die untere und obere Grenze der Schwingungen zu bestimmen, bis zu denen diese noch als Töne empfunden werden, muss man vor allem möglichst einfache Töne, also Sinusschwingungen in dem oben definirten Sinne, auf das Ohr einwirken lassen, was am besten mittelst Stimmgabeln von sehr großen und sehr kleinen Dimensionen geschieht. Die Anwendung von Resonanzräumen ist bei solchen Stimmgabeln von extremen Dimensionen nicht mehr möglich. Doch kann man bei den tiefen Gabeln die Obertöne durch Laufgewichte, die mit den Knotenpunkten der schwingenden Stäbe zur Deckung gebracht werden, wesentlich abschwächen. Gleichwohl begegnet die sichere Bestimmung beider Tongrenzen großen Schwierigkeiten, theils wegen der sehr geringen Intensität der sich der Schwelle nähernden Töne, theils wegen der bei den tiefsten und höchsten Tönen zunehmenden Unsicherheit der Intervallempfindung, die bei den ersteren die Verwechselung mit Obertönen begünstigen kann. Als einigermaßen gesicherte untere Grenze darf wohl ein Ton von etwa 12, als obere ein solcher von etwa 50000 Doppelschwingungen in der Sec. gelten. Doch schwanken die verschiedenen Beobachter rücksichtlich des tiefsten Tons zwischen 8 und 24—30, rücksichtlich des höchsten zwischen etwa 20000 und 60000. Zum Theil mögen diese Widersprüche auf individuellen Unterschieden beruhen. Namentlich scheint sich die Abnahme der Hörschärfe im höheren Lebensalter auch darin zu verrathen, dass der tiefste Ton herauf- und der höchste herabrückt[1].

---

[1] Vgl. über die Frage der tiefsten und höchsten Töne die Verhandlungen zwischen A. Appunn, Melde, Stumpf und R. König in Wiedemanns Annalen der Physik, Bd. 61,

Gegenüber diesen beiden Höhenschwellen des Tones ist nun die Zeitschwelle oder diejenige kleinste Zahl von Schwingungen, bei der die letzteren den Toncharakter annehmen, eine für jeden einzelnen Ton geltende Größe, von der von vornherein zu erwarten ist, dass sie sich mit der Geschwindigkeit der Schwingungen verändern werde. Grenzbestimmungen dieser Art lassen sich auf doppelte Weise ausführen. Entweder lässt man die Schwingungen einer Stimmgabel nur während einer genau messbaren Zeit auf das Ohr einwirken[1], oder man erzeugt objectiv Luftstöße, die nur während einer sehr kurzen Zeit andauern[2]. Diese nach verschiedenen Methoden von EXNER, PFAUNDLER, KOHLRAUSCH u. A. ausgeführten Versuche ergaben übereinstimmend, dass unter günstigen Umständen zwei Schwingungen zur Erkennung des Toncharakters genügten, während eine viel größere Zahl, durchschnittlich etwa 16 Schwingungen, erforderlich ist, um die Tonhöhe sicher bestimmen zu können. Setzt man jedoch die Beobachtungen während einer längeren Zeit fort, wie es in den Versuchen von R. SCHULZE geschah, so zeigt es sich, dass namentlich der letztere Zahlenwerth in hohem Grad von der Uebung abhängt, und dass bei maximaler Uebung meist die zur Erkennung des Toncharakters nothwendige Schwingungszahl mit der zur Erkennung der Tonhöhe erforderlichen zusammenfällt.

Zur Untersuchung der Unterschiedsempfindlichkeit für Töne ist es wünschenswerth, relativ einfache Klänge anzuwenden, wozu man sich am besten möglichst obertonfreier Stimmgabeln bedient, die mit abgestimmten Resonanzräumen in Verbindung stehen. Meist benützt man dazu die von den Akustikern eigens zu diesem Zweck angefertigten Stimmgabeln, die direct auf einen genau ihrem Ton entsprechenden, an der einen Seite offenen Resonanzkasten aufgeschraubt sind (Fig. 169). Für exacte Versuche ist es zugleich erforderlich, dass die Klänge erst einige Zeit nach dem Anstreichen oder Anschlagen der Stimmgabel hörbar werden, weil erst solche ausklingende Töne zureichend rein sind. Bei der Anwendung einer der Minimalmethoden bedarf man ferner für jeden zu untersuchenden Ton zweier gleichgestimmter Gabeln, von denen die eine, die Normalgabel, eine feste Stimmung hat, die andere, die Vergleichsgabel, durch die Verschiebung von Laufgewichten an einer Millimeterscala gegen jene verstimmt werden kann

---

S. 760. Bd. 64, S. 409. Bd. 65, S. 645. Bd. 67, S. 222, 781, und Bd. 68, S. 99, 869 (1897 bis 1899), dazu K. L. SCHÄFER, Die Bestimmung der unteren Hörgrenze. Zeitschr. f. Psychol., Bd. 21, 1901, S. 52. SCHWENDT, Ueber höchste hörbare Töne. Archiv f. Ohrenheilkunde, Bd. 49, 1900, S. 1. Ueber individuelle Unterschiede F. BEZOLD, Ueber die functionelle Prüfung des menschlichen Gehörorgans. 1897, S. 203 ff.

[1] EXNER, PFLÜGERS Archiv, Bd. 13, S. 228. R. SCHULZE, Versuche aus dem Leipziger Laboratorium (dieses Werk, 4. Aufl., S. 451).

[2] PFAUNDLER, Sitzungsber. der Wiener Akad. 2. Abth., Bd. 76, S. 561. W. KOHLRAUSCH, WIEDEMANNS Annalen, Bd. 10, S. 1. ABRAHAM und BRÜHL, Zeitschr. f. Psychol. Bd. 18, S. 177.

(Fig. 170). Zur genauen Einstellung dient ein an dem einen Laufgewicht festgelötheter Draht, der mit einer an dem andern Gewicht angebrachten Marke in jeder Stellung genau zur Deckung kommen muss. Zur Erzielung kleinster

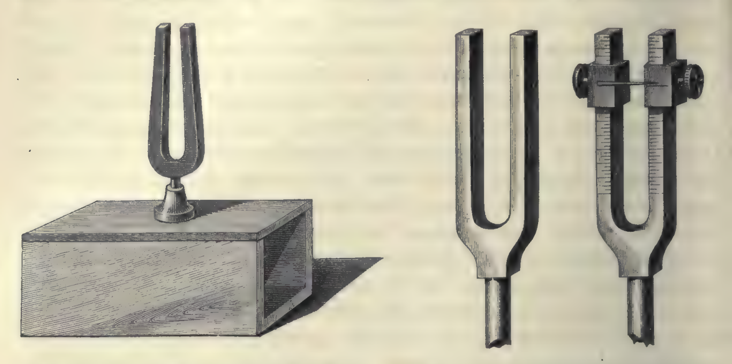


Fig. 169. Stimmgabel auf Resonanzkasten.

Fig. 170. Stimmgabeln zur Bestimmung der Unterschiedsempfindlichkeit.

Abstufungen ist unter Umständen noch die Anbringung eines zweiten, viel kleineren und selbständig beweglichen Laufgewichts wünschenswerth. Bei Versuchen nach der Methode der Minimaländerungen wird dann in der in

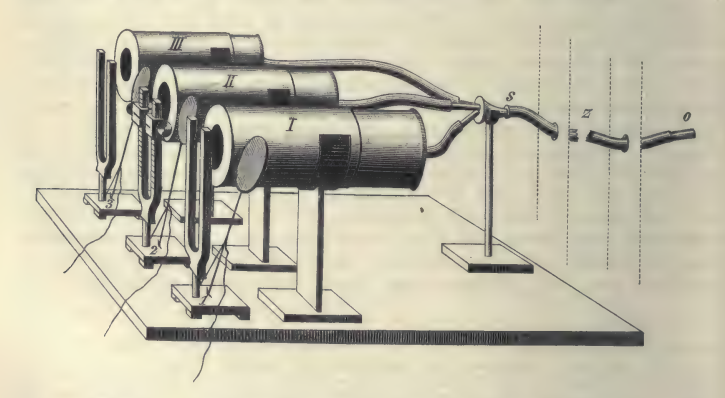


Fig. 171. Versuchsanordnung zur Methode der mittleren Abstufungen.

Bd. 1, S. 476 f. angegebenen Weise verfahren, indem man immer in gleichen Pausen die Gabeln successiv mit einem Clavierhammer anschlägt und, vom Einklange ausgehend, die obere und untere Unterschiedsschwelle in den

verschiedenen Zeitlagen aufsucht. Die diesen Schwellen entsprechenden Schwingungsdifferenzen beider Gabeln werden dann durch Zählen ihrer Schwebungen bei gleichzeitigem Anschlagen ermittelt. Um die Theilung von Tonstrecken nach der Methode der mittleren Abstufungen auszuführen, werden, wie es Fig. 171 zeigt, drei solche Stimmgabeln vor auf sie abgestimmten und durch Ausziehen in ihrer Stimmung etwas veränderlichen Resonanzröhren (*I*, *II*, *III*) aufgestellt. Das Ende einer jeden der letzteren mündet in einem Kautschukschlauch, der bei *s* in einen einzigen in ein entferntes Zimmer geleiteten Schlauch übergeht, wie in der Figur durch den Zwischenraum *z* angedeutet ist. Dort befindet sich die Versuchsperson, die das in eine kleine Glasröhre *o* mündende Ende des Schlauchs in das Ohr steckt. In einer Versuchsreihe lässt man nun die zwei Gabeln *1* und *3*, die tiefste und höchste, in ihrer Stimmung constant, während die mittlere *2* in jedem Versuch durch Verschiebung der Laufgewichte nach einem zuvor von dem Experimentator festgestellten Plane in ihrer Tonhöhe variirt wird. Beim Beginn des Versuchs werden die drei Gabeln rasch nach einander angeschlagen und dann in einem genau abzumessenden Tempo jede der Resonanzröhren durch Zug an den entsprechenden Federn während einer kurzen, ebenfalls abgemessenen Zeit geöffnet und sofort wieder geschlossen. Die Beobachtung in einem entfernten Raum bietet den Vortheil, dass die Versuchsperson, vor allen Nebengeräuschen geschützt, nur die drei, ihr kurz vorher durch ein telegraphisches Signal angekündigten Töne wahrnimmt.

Zu Untersuchungen, die sich über eine sehr große Zahl von Tönen erstrecken, wird man jedoch in der Regel zu andern Klangquellen, namentlich zu den leicht in großer Anzahl herzustellenden Zungenpfeifen, seine Zuflucht nehmen müssen. Die so erzeugten Klänge sind nicht mehr annähernd einfach, sondern sie enthalten neben dem stärkeren Grundton schwächere Obertöne von der 2-, 3-, 4... fachen Schwingungszahl des ersteren. Um einen solchen Klang in Bezug auf seine Obertöne zu analysiren, bedient man sich der oben erwähnten Resonatoren, wie einen solchen Fig. 172 darstellt. Für einen Klang von der Schwingungszahl *s* ist zur Analyse der Obertöne eine Reihe von Resonatoren erforderlich, die einzeln auf die Schwingungszahlen $2s$, $3s$, $4s$ . . . abgestimmt sind. Das Ende *b* des Resonators wird in das Ohr gebracht, das Ende *a* der Schallquelle zugekehrt. Am zweckmäßigsten werden diese Resonatoren, namentlich die größeren, aus Zinkblech angefertigt. Da übrigens Resonanzräume nicht bloß auf ihren Eigenton, sondern auch auf tiefere Töne, in deren Obertonreihe jener Eigenton gehört, in Mitschwingungen gerathen können, so ist der durch einen Resonator gehörte Oberton im allgemeinen erst dann mit Sicherheit als Partialton des analysirten Klangs vorauszusetzen, wenn es gelingt, ihn auch ohne Resonator in demselben zu hören[1]. Die Resonatoren dienen also nicht sowohl der endgültigen Nachweisung als der ersten Entdeckung schwacher Obertöne, die man mit bloßem Ohr erst zu

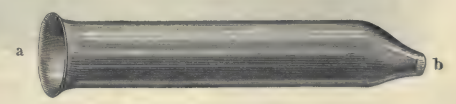


Fig. 172. Resonanzröhre.

[1] H. GRASSMANN, WIEDEMANNS Annalen, Bd. 1, S. 606.

hören pflegt, wenn zuvor in Folge ihrer resonatorischen Verstärkung die Aufmerksamkeit auf sie gelenkt worden ist.

Für psychologische Untersuchungen, bei denen man einer großen Reihe wenig verschiedener Klänge bedarf, haben G. und A. APPUNN in ihren Tonmessern eine größere Zahl abgestimmter Zungenpfeifen in je einem einzigen Apparat vereinigt. Jeder besteht aus einem System von metallischen Zungen, die von einem darüber befindlichen Blasebalg aus einzeln erregt werden können. Die Fig. 173 zeigt das Instrument im geöffneten Zustand, den Deckel mit dem darin befindlichen Blasebalg zurückgeschlagen, um die Reihe der Zungen sichtbar zu machen. An der vordern Wand befindet sich eine Reihe von Knöpfen (1 bis 32), an denen die zu den einzelnen Zungen gehörigen Ventile gezogen werden, um die Zungen zum Tönen zu bringen. Die Luft wird durch einen Blasetisch geliefert, auf welchen man das ganze Instrument aufsetzt. Durch die Oeffnung *a* des Zugangsrohres strömt die Luft aus dem Blasetisch ein

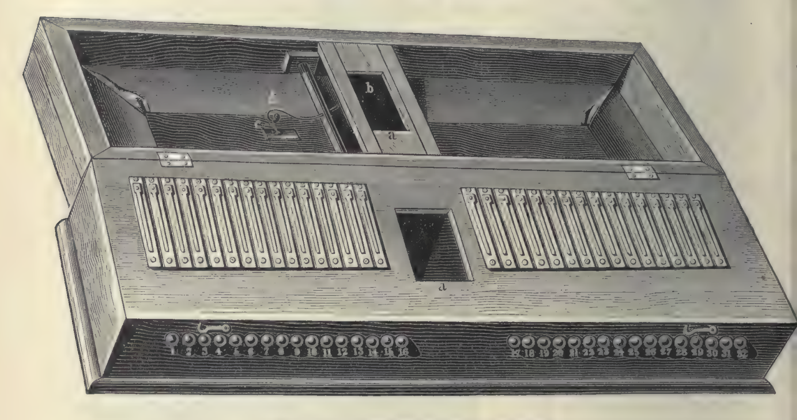


Fig. 173. APPUNN'scher Tonmesser.

und hebt das bei geschlossenem Instrument unmittelbar auf *a* ruhende Ventil *b* in die Höhe, um durch dasselbe in den über den Zungen befindlichen Raum einzuströmen und die einen Blasebalg bildende Decke des Instruments in die Höhe zu heben. Zur Regulirung des Luftdrucks ist an der Decke ein Faden *c* angebracht, der, sobald er durch Emporheben der Decke zureichend gespannt ist, den auf das Ventil *b* von oben drückenden Hebel *d* bewegt und so durch Schluss des Ventils den Zugang der Luft hemmt. Wird nun, während der Blasebalg über den Zungen gefüllt ist, eines der Ventile 1 bis 32 gezogen, so geräth alsbald die betreffende Zunge in Schwingungen, indem die Luft an ihr vorüber nach unten entweicht. Bei den tieferen und mittleren Lagen der musikalischen Scala genügt bei der Abstufung nach 2 oder 4 Schwingungen je ein Tonmesser für eine Octave, bei den höchsten wird es nöthig, die Octave auf mehrere Instrumente zu vertheilen. A. APPUNN hat solche Tonmesser in

den verschiedenen Tonlagen von 32 Schwingungen an bis zu 1024 Schwingungen hergestellt, die beiden tiefsten Octaven in Abstufungen von 2, die andern in solchen von 4 Schwingungen.

Die allgemeinen Resultate der von C. LORENZ mittelst dieser Tonmesser ausgeführten Versuche lässt die folgende Tabelle übersehen, die einen Auszug aus der von ihm gegebenen Zusammenstellung der gefundenen Empfindungsmitten m' enthält[1]. $T:M:H$ gibt die einfachen Schwingungsverhältnisse der Töne t, m, h an, g ist die Schwingungszahl desjenigen Tones, der die geometrische Mitte zwischen t und h bilden würde. Die Empfindungsmitte m' ist in der in Bd. 1, S. 480 angegebenen Weise berechnet. Unter m'' sind außerdem Werthe von m' mitgetheilt, die JUL. MERKEL[2] aus zwei beliebigen unter den Schätzungen m_v nach der in Bd. 1, S. 490 erwähnten Methode berechnet hat. Die Buchstaben P und L bezeichnen die zwei Beobachter, deren Versuche in diesem Auszug berücksichtigt worden sind.

$T:M:H$	$t:m:h$	m'		m''		g
		L	P	L	P	
8 : 15 : 22	32 : 60 : 88	64		64,6		53
1 : 2 : 3	34 : 68 : 102	71		71,9		58,9
3 : 4 : 5	132 : 176 : 220	181	185	176,2	185,3	160,4
11 : 13 : 15	176 : 208 : 240	211	217	209,1	217,5	205,5
2 : 3 : 4	256 : 384 : 512	384	384	382	390,6	362,3
4 : 5 : 6	256 : 320 : 384	324	325	319,7	324,4	313,5
5 ; 6 : 7	340 : 408 : 476	404	409	405,6	409,4	402,3
8 : 9 : 10	256 . 288 : 320	290	288	288,9	290	286,2
16 : 17 : 18	256 : 272 : 288	273	275	273,1	277,8	271,5
30 : 31 : 32	480 : 496 : 512	496	497	496,8	497,5	495,7
97 : 107 : 117	388 : 428 : 468	430	430	425,4	431,7	426,1
2 : 5 : 8	64 : 160 : 256	163		164,7		128
2 : 5 : 8	128 : 320 : 512	326		323,8		256
2 : 5 : 8	256 : 640 : 1024	649		647,9		512

Diese Zahlen zeigen deutlich, dass die Theilung nach gleichen absoluten Distanzen eine sicherere ist, wenn dieselben harmonischen Intervallen entsprechen, aber dass sie auch bei gänzlich unharmonischen Tonfolgen noch deutlich hervortritt, indem die Mittelwerthe der Schätzungen stets mit dem arithmetischen Mittel sehr nahe zusammenfallen und sich von dem geometrischen beträchtlicher entfernen. Das nämliche Resultat gewinnt man bei der Verwendung einfacher Stimmgabelklänge in der durch Fig. 171 dargestellten Weise. Auch beobachtet man dabei, dass bei Tonstrecken eine solche messende Schätzung viel leichter ist als etwa bei Empfindungsintensitäten, so dass sich jene zur allgemeinen Demonstration der Methode der mittleren Abstufungen besonders

[1] C. LORENZ, a. a. O. S. 85.
[2] MERKEL, Philos. Stud. Bd. 8, 1893, S. 125.

gut eignen. Ich habe zu diesem Zweck zwei Serien von je vier Stimmgabeln auf Resonanzkästen anfertigen lassen, die den in Fig. 167 und 168 dargestellten Tonverhältnissen entsprechen, indem sie neben dem arithmetischen auch den geometrischen Mittelton (*a* und *g*) enthalten. Lässt man dann successiv die Tonfolgen *t a h* und *t g h* erklingen, so wird in beiden Fällen, ob es sich um eine harmonische oder eine unharmonische Tonfolge handelt, durchweg *a* als die Mitte der Tonstrecke *t h* geschätzt[1]. Auch nach der Methode der richtigen und falschen Fälle sind Ergebnisse gewonnen worden, die anscheinend auf eine Constanz der absoluten Unterschiedsschwelle bei verschiedenen Tonhöhen hinweisen. Doch sind die von M. Meyer in dieser Richtung angestellten Versuche an Zahl zu klein und methodisch zu unvollkommen, als dass aus ihnen ein sicherer Schluss gezogen werden könnte[2].

In Folge der Bedeutung, die, wie der Uebergang der Tonlinie in die Tonscala zeigt, die musikalischen Intervalle für die Tonwahrnehmung besitzen, bietet sich nun schließlich im Gebiet der Töne noch ein specifisches Problem der Unterschiedsempfindlichkeit, dem in andern Empfindungsgebieten kein analoges gegenübersteht: man kann nämlich die Frage aufwerfen, welche Unterschiedsschwelle bei einem bestimmten Intervall in Bezug auf etwaige Abweichungen der gegebenen Tonhöhen von demselben besteht. Auch diese Unterschiedsempfindlichkeit für Intervalle kann wieder nur für successive Töne bestimmt werden, weil sich bei Zusammenklängen die unmittelbaren Erscheinungen der Consonanz und bei der Abweichung vom richtigen Intervall die Schwebungen als indirecte Merkmale geltend machen. Außerdem sind die Beobachtungen selbstverständlich nur bei musikalisch beanlagten Menschen möglich, d. h. bei solchen, die, wenn ihnen Intervalle wie Octave, Quinte, Terz u. s. w. gegeben werden, für dieselben ein zureichendes musikalisches Gehör und Gedächtniss besitzen, um sie wenigstens für die Dauer eines Versuchs festzuhalten und wiederzuerkennen. Führt man unter

[1] Ueber einige von C. Stumpf (Zeitschrift für Psychologie, Bd. 1, S. 419. Bd. 2, S. 266 ff.) vorgebrachte Einwände vgl. meine kritischen Bemerkungen, Philos. Stud. Bd. 6, 1891, S. 605. Bd. 7, 1892, S. 296 ff.

[2] M. Meyer (Zeitschrift für Psychologie, Bd. 16, S. 356) hat Versuche an 6 Beobachtern angestellt, die sich derart vertheilen, dass auf den einzelnen höchstens 22 und mindestens 9 Versuche kommen. Er gab die Töne so, dass er eventuell mehrmals nach einander denselben Ton wiederholte, wenn der Beobachter es wünschte. Die Versuche von diesen 6 Beobachtern vereinigte dann Meyer mit den von Prof. Stumpf gewonnenen, je 30—36 Einzelbeobachtungen umfassenden zu Mittelwerthen. Da sich in diesem Verfahren beinahe alles zusammenfindet, was bei der *r*- und *f*-Methode, wenn sie brauchbare Resultate geben soll, vermieden werden muss, so sind die Ergebnisse kaum zu verwerthen (vgl. oben Cap. IX, Bd. 1, S. 490 f.). Gegen die Methode der Minimaländerungen wendet Meyer ein, der Erwartungsfehler spiele bei ihr eine bedenkliche Rolle, auch könne möglicher Weise ein Beobachter die einzelnen Abstufungen zählen und dann nach der Stufenzahl sein Urtheil einrichten. Was das erstere betrifft, so überzeugt man sich leicht, dass der bei zureichender Uebung und sorgfältiger Versuchsführung nicht allzu schwer zu vermeidende Erwartungsfehler gerade bei der Vergleichung von Tonhöhen wegen der relativ großen Sicherheit der Schätzung, ähnlich wie bei der Vergleichung von Lichtintensitäten, eine verschwindende Rolle spielt (Bd. 1, S. 519). Der Gefahr, dass der Beobachter, statt überhaupt die Empfindungen zu vergleichen, die Versuche zählt, kann man allerdings nur entgehen, wenn man sich auf die Ehrlichkeit und Gewissenhaftigkeit der Beobachter verlassen darf, eine Voraussetzung, die natürlich bei jeder Methode erfüllt sein muss.

dieser Voraussetzung die Versuche aus, so ergibt sich nun, dass im allgemeinen die Unterschiedsempfindlichkeit für Intervalle im allgemeinen mit der Einfachheit der Tonverhältnisse gleichen Schritt hält. Dies zeigen die folgenden von J. Schischmanow[1] an Stimmgabelklängen in einer mittleren Tonlage (zwischen 256 und 512 Schwingungen) für beide Schwellen gewonnenen Werthe:

	Octave	Quinte	Quarte	Gr. Sexte	Gr. Terz
Untere Schwelle	0,164	0,253	0,262	0,345	0,326
Obere »	0,276	0,414	0,577	0,659	0,644

	Kl. Terz	Gr. Secunde	Kl. Sexte	Kl. Septime	Gr. Septime
Untere »	0,392	0,399	0,498	0,501	0,619
Obere »	0,822	0,697	0,846	0,854	0,104

Dabei zeigte sich aber, wie begreiflich, die musikalische Uebung von viel größerem Einfluss als bei der Unterschiedsempfindlichkeit für den Einklang. Auch fanden sich, wie schon Preyer[2] beobachtete, in der Reihenfolge namentlich der mittleren Intervalle der obigen Reihe (Quarten, Terzen, Sexten) individuelle Unterschiede. Am schärfsten ist die Bestimmung des Gleichheitspunktes, der bei den Abstufungen nach der Minimalmethode innerhalb der Grenzen der Genauigkeit, die bei der gewählten Größe der Stufen möglich sind, in einzelnen Beobachtungen mit dem wirklichen Gleichheitspunkt zusammenfällt. Dies zeigt der folgende Gang eines Einzelversuchs, in welchem für die Octave von 256 und 512 Schwingungen t den Unterschied des eben merklich tieferen, h den des eben merklich höheren und g den des scheinbar gleichen Tones bezeichnet, wenn die Laufgewichte der Vergleichsgabel um je 1 mm verschoben wurden. Bei VJ wurde zum Behuf der Elimination des Zeitfehlers zuerst die Vergleichs-, bei JV zuerst die Normalgabel angeschlagen, bei u wurde der Ton vertieft, bei o erhöht.

VJ_o				JV_o			
t	g	h	g	t	g	h	g
0,655	0,333	0,453	0,200	0,333	0,333	0,200	0,200
0,332	0,332	0,199	0,199	0,334	0	0,200	0
0,333	0	0,200	0	0,332	0	0,199	0

VJ_u				JV_u			
h	g	t	g	h	g	t	g
0,435	0	0,335	0,335	0,451	0,198	0,909	0,332
0,200	0	0,333	0	0,200	0	0,333	0
0,198	0	0,330	0	0,198	0	0,330	0

[1] Schischmanow, Philos. Stud. Bd. 5, 1889, S. 558 ff.
[2] Preyer, Die Grenzen der Tonwahrnehmung, S. 38 ff.

Die obigen Mittelzahlen sind aus je drei solchen Versuchsreihen gewonnen worden. Die oberen Schwellen sind, wie man sieht, durchgängig viel größer als die unteren, im Gegensatze zu den Verstimmungen des Einklangs (S. 75), wo beide Schwellen annähernd einander gleich sind. Am auffallendsten ist dieser Unterschied bei der kleinen Terz. Zugleich sind die Unterschiede der Schwellen durchweg größer bei musikalisch geübten als bei ungeübten Beobachtern (vgl. Sch. und K. in Sch's Tabellen, die mitgetheilten Werthe sind den Ergebnissen des ersteren entnommen). So deutlich diese Versuche die Bevorzugung, welche die musikalischen Intervalle vermöge der natürlichen Anlage unseres Gehörssinns vor andern beliebigen Tonstrecken genießen, schon darin erkennen lassen, dass die angeführte Reihenfolge der Intervalle vor allem auch bei musikalisch ungeübten, aber musikalisch normal beanlagten Personen hervortritt, so erhellt doch aus ihnen nicht minder, dass sie mit den Beobachtungen über die eigentliche Unterschiedsempfindlichkeit für Tonhöhen nicht direct vergleichbar sind. Diese letzteren beziehen sich überall auf eine unmittelbare Vergleichung der Empfindungen, die Versuche über Intervallempfindlichkeit sind aber ihrem Wesen nach Gedächtnissversuche, und der Grad der Feinheit des sogenannten »Intervallensinns« hängt daher zum einen Theil freilich von der natürlichen Bevorzugung der musikalischen Intervalle, zum andern Theil aber wesentlich von dem Tongedächtniss ab. Dies zeigt sich schon darin, dass man den Beobachtern, wenn sie nicht eine sichere musikalische Uebung besitzen, vor Beginn jeder Versuchsreihe das zu untersuchende Intervall womöglich mehrmals angeben muss, wenn sie der gestellten Aufgabe überhaupt nachkommen sollen[1]. Noch augenfälliger weisen auf diesen Einfluss der Uebung und des Gedächtnisses die Beobachtungen hin, die STUMPF und MEYER an einer Anzahl geübter Musiker ausführten[2]. Bei diesen Versuchen wurden zugleich die durch Succession der Töne hervorgebrachten Intervalle mit den entsprechenden Zusammenklängen verglichen. Hierbei zeigte sich, dass die Genauigkeit der Intervallauffassung bei der Succession erheblich größer ist als beim Zusammenklang, und dass sie bei einfachen Stimmgabelklängen größer ist als bei obertonreichen Klängen, eine Thatsache, welche die ohnehin schon durch die Genauigkeit der Intervallvergleichung von Stimmgabelklängen sehr unwahrscheinlich gewordene, zuweilen geäußerte Behauptung widerlegt,

[1] STUMPF und MEYER tadeln es, dass SCHISCHMANOW bei seinen Versuchen zuvor das musikalisch reine Intervall angegeben und den Beobachtern eingeprägt habe. Dadurch sei »der Hauptzweck der Untersuchung von vornherein vereitelt worden«! (Zeitschrift für Psychologie, Bd. 18, S. 378.) Diese Bemerkung scheint auf einem Uebersehen eben der Thatsache zu beruhen, dass alle diese Intervallversuche wesentlich Gedächtnissversuche sind. Wenn STUMPF und MEYER ähnliche Versuche an geübten Musikern ausführten, so konnten sie allerdings die vorherige Angabe des Intervalls entbehren, weil diese Personen jedes Intervall an und für sich schon so fest ihrem Gedächtniss eingeprägt hatten, dass eine Wiederholung desselben überflüssig, natürlich aber auch unschädlich gewesen wäre: die Wiederholung würde zu der vorhandenen Einübung keinen wesentlichen Betrag hinzugefügt haben. Da jedoch Quinte, Quarte, Terz u. s. w. keine angeborenen Vorstellungen sind, so muss man demjenigen, der nicht selbst Musiker ist, damit er überhaupt vergleichen kann, selbstverständlich das Vergleichsobject zuvor mittheilen, um ihn einigermaßen in die Lage zu versetzen, in der sich der Musiker von selbst schon befindet.

[2] STUMPF und MEYER, Maßbestimmungen über die Reinheit consonanter Intervalle. Zeitschrift für Psychologie, Bd. 18, S. 322 f. Auch abgedruckt in STUMPFs Beiträgen zur Akustik und Musikwissenschaft, Heft 2, 1898, S. 84 ff.

Intervalle obertonfreier Töne seien überhaupt nur in Folge der Association mit obertonreichen Klängen zu erkennen[1]. Weiterhin ergab sich, wie in den Versuchen von SCHISCHMANOW, dass die obere Unterschiedsschwelle erheblich größer war als die untere, dass man also eine Vergrößerung des Intervalls leichter erträgt als die Verkleinerung. Daneben fand sich aber das von den früheren Resultaten PREYERS und SCHISCHMANOWS abweichende Ergebniss, dass die Unterschiedsempfindlichkeit für die verschiedenen Intervalle ziemlich gleich zu sein schien, mit Ausnahme der Octave, die die ungünstigsten Verhältnisse zeigte. Nun lassen diese Versuche eigentliche Schwellenvergleichungen bei den einzelnen Intervallen allerdings nicht zu, und das eigenthümliche, eine ziemlich irreguläre Combination zwischen den verschiedenen Minimalmethoden darstellende Verfahren begegnet überhaupt nicht unerheblichen methodischen Bedenken. Nichts desto weniger scheint das Resultat, dass bei sehr geübten Musikern die Unterschiedsschwellen mehr und mehr sich ausgleichen und die Octave das relativ am wenigsten durch die Uebung begünstigte Intervall ist, leicht erklärlich zu sein, zugleich aber auch einen Beleg für den obigen Satz zu bilden, dass die Intervallversuche zu einem sehr wesentlichen Theil den Charakter von Gedächtnissversuchen besitzen. Ein Musiker, der fortwährend mit den verschiedenen musikalischen Intervallen umzugehen hat, wird bald namentlich für die innerhalb der Octave liegenden eine ungefähr gleiche Uebung erlangen; bei der Octave ist dieser Anlass ein etwas minder zwingender, weil jene engeren Intervalle der Gedächtnissübung im musikalischen Gebrauch die günstigeren Chancen bieten. Bei den Musikern STUMPFS dürfte daher der Grenzfall annähernd erreicht sein, wo von den beiden Factoren der Unterschiedsempfindlichkeit für Intervalle, natürliche Bevorzugung der harmonischen Tonverhältnisse und gedächtnissmäßige Einübung, der zweite zur entschiedenen Vorherrschaft gelangt ist.

Die Frage über die obere und untere Tonschwelle schwebt seit den von PREYER gemeinsam mit GEORG APPUNN ausgeführten Versuchen, in welchen diese Forscher die untere Tongrenze auf 16, die obere auf etwa 40000 Doppelschwingungen in der Sec. bestimmten[2]. ANTON APPUNN, der Sohn G. APPUNNS, ein ebenfalls mit ungewöhnlich feinem Gehör ausgerüsteter Akustiker, glaubte später nach den von ihm an selbstverfertigten Stimmgabeln und an für die höchsten Töne abgestimmten Galtonpfeifchen angestellten Versuchen nach beiden Seiten erheblich weiter gehen zu können: nach unten bis in die Gegend von 8, nach oben bis in die von 60000 Schwingungen in der Sec. Aber da er sich bei der Bestimmung der Tonhöhen wesentlich nur auf sein Gehör verließ, so regten sich bald gegen diese Angaben von mehreren Seiten Bedenken, um so mehr da die Intervallunterscheidung bei den tiefsten wie bei den höchsten Tönen sehr unsicher wird. Mit Recht verlangte man in beiden Fällen den objectiven Nachweis, dass die benutzten Tonerzeuger wirklich den betreffenden Ton geben, und nicht bei den tiefsten Tönen einen höheren (einen Oberton oder bei der Benutzung von Differenztönen einen Zwischenton), bei den höchsten einen tieferen. In der That glaubten namentlich

[1] G. E. MÜLLER, Zur Grundlegung der Psychophysik, S. 285.

[2] PREYER, Die Grenzen der Tonwahrnehmung. 1876. Akustische Untersuchungen. 1879, S. 1 ff.

MELDE und R. KÖNIG für die höchsten der von A. APPUNN angegebenen Töne das letztere beweisen zu können. Dabei ist man nun freilich wohl nach der entgegengesetzten Seite zu weit gegangen, wenn die obere Grenze gelegentlich auf 16—24000, die untere auf 24—30 Schwingungen angesetzt wurde. Dem gegenüber hat K. L. SCHÄFER auf Grund der Beobachtung von Unterbrechungstönen, die durch regelmäßige Unterbrechungen eines andern Tones entstehen, entschieden wieder 16 Schwingungen als die untere Grenze bezeichnet[1]. Für die Untersuchung der unteren Tongrenze hat ferner A. APPUNN in neuerer Zeit Drahtstimmgabeln aus dickem Stahldraht hergestellt, die mit festgelötheten Messinggewichten belastet sind. Die vollständige Serie dieser Gabeln umfasst in Abstufungen von je zwei Schwingungen die Töne von 8 bis 24 Schwingungen. Beginnt man mit der höchsten dieser Gabeln, so sind, wenn man die Gabel dicht vor das Ohr hält, die Töne sehr deutlich wahrzunehmen. Beim Herabgehen zu den langsameren Schwingungen wird dann der Ton gleichzeitig leiser und tiefer, und man vermag meist noch bei 14 Schwingungen sehr deutlich den Ton als tiefer von den vorangegangenen zu unterscheiden. Weiter herab, bei 12 und 10 Schwingungen, hat man zwar noch die Empfindung eines Tons, dieser bleibt aber in seiner Höhe unbestimmt[2]. Zu ähnlichen Resultaten gelangte F. BEZOLD in Versuchen mit einer von EDELMANN hergestellten continuirlichen Tonreihe in Stimmgabeln[3]. Durch die continuirlich wahrzunehmende Vertiefung des Tones scheint bei diesem Versuch die Verwechslung mit Obertönen ausgeschlossen zu sein; auch sind diese bei den dünnen Drahtgabeln wahrscheinlich zu schwach, um hörbar zu sein. Danach ist wohl anzunehmen, dass die untere Hörgrenze noch etwas tiefer als auf 16 Schwingungen herabgeht. Wahrscheinlich sind aber hier die individuellen Unterschiede nicht unbeträchtlich. Aehnlich sind wohl die im Widerspruch gegen A. APPUNN vielfach gemachten Angaben über die Grenze der höchsten hörbaren Töne im allgemeinen zu niedrig gegriffen. Wenn man die kleinen von A. APPUNN gefertigten Stimmgabeln von 16000 bis zu angeblich 60000 Schwingungen an ihren freien Enden mit einem aufgekitteten Korkblättchen armirt und dann mit einem feuchten Glasstab kräftig anstreicht, so gelingt es nicht selten deutlich in ihrer Intensität immer mehr abnehmende und in ihrer Höhe zunehmende Töne bis zu einer angeblich bei etwa 50000 liegenden Gabel zu verfolgen. Die höchsten und leisesten dieser Töne sind am besten bei sonstiger absoluter Stille in einiger Entfernung wahrzunehmen.

---

[1] K. L. SCHÄFER, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 21, S. 161. Ich selbst habe schon vor langer Zeit auf Grund der bei der Verstimmung zweier neben einander angeblasener Labialpfeifen die untere Tongrenze geglaubt auf 8 Schwingungen ansetzen zu können (dieses Werk[1], 1874, S. 362). Nach dem was wir jetzt über die näheren Bedingungen solcher Stoßtöne wissen, glaube ich aber annehmen zu sollen, dass dabei der unten zu erwähnende »Zwischenton« gehört wurde, eine Verwechslung, die dadurch begünstigt werden kann, dass stoßende Töne, namentlich in den unteren Tonlagen, nicht bloß überhaupt unsicher nach ihrer Höhe zu beurtheilen sind, sondern auch durchweg einen tieferen Eindruck machen als gleich hohe continuirliche Töne.

[2] Neun in der Unterscheidnng von Tonhöhen geübte Beobachter, an denen diese Versuche vorgenommen wurden, stimmten in dieser Beziehung in ihren Aussagen nahezu vollständig überein. Fünf von ihnen hatten noch bei 8 Schwingungen eine in ihrer Höhe unqualificirbare Tonempfindung; einige beurtheilten diese tiefsten Töne etwas höher als den Ton von 14 Schwingungen.

[3] F. BEZOLD, Ueber die functionelle Prüfung des menschlichen Gehörorgans. 1897, S. 230.

Nun ist freilich der Intervallensinn in dieser Region so unsicher, dass man die Möglichkeit einer absoluten Höhenbestimmung bezweifeln muss. Immerhin spricht die fortwährende Erhöhung des Tons, die man von der in ihrer Tonhöhe sicher bestimmbaren Grenze an wahrnimmt, für die sehr hohe Lage dieser Töne. Aehnliches zeigt die Vergleichung einer den kleinen Stimmgabeln analogen Serie von Galtonpfeifchen. Zum selben Resultat führten denn auch die Versuche von A. SCHWENDT, bei denen die objectiven Schwingungszahlen mittelst KUNDT'scher Staubfiguren bestimmt wurden. Dieser Beobachter, der selbst früher in Versuchen, die er unter der Mitwirkung und mit den Apparaten von R. KÖNIG ausgeführt, die APPUNN'schen Angaben viel zu hoch gefunden hatte[1], fand nämlich in späteren mit A. EDELMANN ausgeführten Beobachtungen bei Klangstäben und Stimmgabeln die obere Grenze bei c^7, bei Galtonpfeifen bei d^8 bis fis^8, also etwa zwei Octaven höher als der höchste musikalisch verwendete Ton (c^5), und demnach bei einer Schwingungszahl von 37000—48000 Schwingungen. Mittelst der KUNDT'schen Staubfiguren konnte darüber hinaus schon KÖNIG unhörbare Töne bis zu 90000, EDELMANN solche bis zu 106000 Schwingungen (e^{10}) nachweisen[2]. Uebrigens zeigen sich bei dieser oberen Grenze wohl noch größere individuelle Unterschiede als bei der unteren, indem namentlich im höheren Lebensalter die Grenze herabrückt. Im ganzen kommen aber alle diese Ergebnisse den APPUNN'schen Grenzbestimmungen, namentlich den ursprünglichen G. APPUNNS, wieder am nächsten.

Größerer Uebereinstimmung als die Angaben über die beiden Höhenschwellen erfreuen sich die über die Zeitschwellen, wo das Ergebniss, dass sich bei 2 Schwingungen wenigstens in den mittleren Tonhöhen die Zeitgrenze der Tonempfindung vorfindet, und dass die genauere Erkennung der Tonhöhe von 16 Schwingungen an mit wachsender Uebung gegen denselben Werth convergirt, als gesichert betrachtet werden kann. In den Versuchen, die R. SCHULZE mit einem musikalisch geübten Beobachter (Prof. KÜLPE) ausführte, schien jene Grenze von 2 Schwingungen nicht die letzte überhaupt erreichbare zu sein. Doch kommen die Abweichungen hier wahrscheinlich auf Rechnung der Reflexion der Schallwellen in dem Zuleitungsrohr, welche die wirkliche Zeitdauer des Schalls eventuell um einige Tausendtheile einer Secunde verlängern konnte. Die Versuche wurden nämlich so ausgeführt, dass der Ton einer Stimmgabel aus einer vor derselben angebrachten Resonanzröhre (Fig. 171) mittelst eines unter dem Boden geführten Kautschukschlauches in ein entferntes Zimmer zum Ohr des Beobachters geleitet war, während die Zeit der Einwirkung des Tones durch ein schweres Pendel, das eine in den Schlauch eingeschaltete sich bewegende Hahnvorrichtung öffnete und alsbald wieder schloss, genau regulirt werden konnte. Die erkannte Tonhöhe wurde durch Nachsingen des Tons telephonisch dem Experimentator mitgetheilt. Unter der Rubrik Tonhöhe ist in der folgenden Tabelle der einwirkende Ton nach seiner Schwingungszahl, der erkannte durch das vorangestellte Buchstabensymbol angegeben. Wo dieser nach der Tonleiter bestimmt über dem objectiven Tone liegt, ist dies durch ein beigefügtes + angedeutet. Die Zahlen I, II und III bezeichnen successive Uebungsperioden. Aus den unmittelbaren

---

[1] PFLÜGERS Archiv, Bd. 75, 1899, S. 346. Vgl. auch R. KÖNIG, WIEDEMANNS Ann. Bd. 69, 1899, S. 626.

[2] A. SCHWENDT, Archiv für Ohrenheilkunde, Bd. 49, 1900, S. 1.

Versuchszahlen der vorletzten Columne sind die corrigirten Werthe der letzten unter Berücksichtigung des arithmetischen Mittels der Beobachtungs- und Ablesungsfehler gewonnen worden.

	Tonhöhe	Zeitdauer in Sec.	Zahl der Schwingungen	Corr. Werthe
I	*G* + 100	0,05	5	5,5—5,7
	b + 240	0,025	6	6,6—6,8
	f + 360	0,01	3,6	4,0—4,1
II	*C* 64	0,05	3,2	3,5—3,6
	d 288	0,01	2,88	3,2—3,3
III	*C* + 64	0,025	1,6	1,8
	B + 117,5	0,014	1,65	1,8—1,9
	fis + 187	0,008	1,5	1,6—1,7

Als eine dritte Art von Schwelle kann endlich beim Gehörssinn auch noch eine Veränderungsschwelle unterschieden werden, die in Anbetracht des Umstandes, dass die Tonqualitäten ein eindimensionales System bilden, eine analoge Bedeutung besitzt wie der entsprechende Schwellenbegriff für die Intensitätsänderungen (Bd. 1, S. 537 f.). Zugleich bilden die Töne, wegen der Leichtigkeit, langsame Tonänderungen objectiv in genau messbarer Weise herzustellen, ein verhältnissmäßig günstiges Gebiet für diese Beobachtungen. L. W. Stern bediente sich bei denselben eines »Tonveränderungsapparates«, der aus einer in ihrem unteren Theil mit Quecksilber gefüllten und mit einem andern Gefäß durch eine Röhre verbundenen Flasche bestand. Diese gab, an ihrer Mündung durch einen aus einem Gebläse zugeführten Luftstrom angeblasen, den Ton. Die Röhre war außerdem unten mit einem mit Quecksilber gefüllten Druckcylinder verbunden, aus welchem dieses mittelst einer Kurbelvorrichtung mit einer bestimmten, nach dem Metronom zu messenden Geschwindigkeit in die Gefäße gepresst oder aus ihnen entleert werden konnte. Das größere communicirende Gefäß hatte dabei wesentlich den Zweck, die Geschwindigkeit des Steigens und Fallens der Flüssigkeit in der tönenden Flasche zu verlangsamen und zweckmäßig zu reguliren. Die Veränderungsdistanzen variirten in Sterns Versuchen zwischen $^1/_2$ und 2 Schwingungen, die Veränderungsdauern zwischen 2 und 4 Secunden. Dabei ergab sich, dass innerhalb dieser Grenzen im ganzen die Unterscheidung continuirlicher Aenderungen feiner war als die für discontinuirliche, d. h. für zwei durch eine Pause getrennte Töne. Die Bestimmung einer eigentlichen Unterschiedsschwelle, d. h. derjenigen Geschwindigkeit, bei der eben die Tonänderung bemerkt wird, stößt übrigens hier, ebenso wie bei den Empfindungsintensitäten, auf Schwierigkeiten, die in dem Zusammenhang der Erscheinung mit den bei solchen continuirlichen Aenderungen stets vorhandenen Aufmerksamkeitsschwankungen zusammenhängen. In Folge dieser später (in Abschn. V) zu erörternden Schwankungen lässt es sich nämlich kaum vermeiden, dass die Vergleichung doch auch hier zu einer solchen zwischen discreten Empfindungen wird: man appercipirt den Ton zuerst in einem gegebenen Moment, und dann nach einer Ruhepause schweifender Aufmerksamkeit in einem zweiten. Dabei ist es aber offenbar nicht eigentlich die Veränderung, die man wahrnimmt, sondern eine Zweiheit von Bewusstseinsinhalten, deren Unterschiede natürlich von der Geschwindigkeit der Veränderung und von der Fähigkeit diese aufzufassen, aber doch nicht von diesen Factoren allein, sondern außerdem von den sehr

verwickelten Bedingungen der Bewegung der Aufmerksamkeit abhängen. Wenn es nun auch schwerlich gelingt dieses letztere Moment zu eliminiren, und demnach eine eigentliche Schwellenbestimmung hier unmöglich sein dürfte, so versprechen doch vielleicht eben darum die Veränderungsversuche interessante Resultate in Bezug auf diese bei ihnen nicht zu eliminirenden Aufmerksamkeitsvorgänge selbst[1].

c. Schwebungen und Combinationstöne.

Wenn zwei einfache Töne von wenig verschiedener Schwingungszahl gleichzeitig erklingen, so beobachtet man Intermissionen des Klangs, deren Anzahl in der Zeiteinheit, wie man bei geringen Tonunterschieden unmittelbar subjectiv durch Zählung oder in weiten Grenzen objectiv durch Aufzeichnung der Schwingungen nachweisen kann, genau dem Unterschied der Schwingungszahlen beider Töne entspricht. Diese Intermissionen bezeichnet man nach ihrer Beschaffenheit bei kleinen Tonhöhenunterschieden als Schwebungen. Sie haben ihren physikalischen Ursprung in der Interferenz der Tonwellen, wie dies die Fig. 174 veranschaulicht. Da entgegengesetzte Bewegungen einander aufheben und gleich gerichtete Bewegungen sich verstärken, so müssen, wenn zwei Wellen im selben Luftraum entstehen, zu den Zeiten, wo ein Berg der einen Welle mit einem Thal der andern zusammenfällt (*m*), die Töne einander schwächen oder ganz auslöschen, und zu andern Zeiten, wo Berg mit Berg oder Thal mit Thal zusammentrifft (*a* und *b*), müssen beide Töne sich verstärken. Auch lässt die Fig. 174 leicht erkennen, dass, wenn in einer gegebenen Zeit die zwei Wellen um eine ganze Schwingung (eine aus Berg und Thal bestehende sogenannte Doppelschwingung) verschieden sind, auch die Verstärkung und die Schwächung des Klangs in der gleichen Zeit je einmal eintreten muss, und dass, wenn die Wellen längere Zeit neben einander herlaufen, die Zeitintervalle zwischen dem Maximum und dem Minimum der Klangstärke immer gleich groß bleiben.

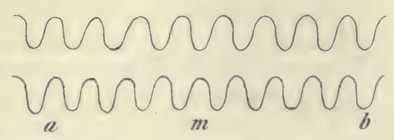


Fig. 174. Schwebende Töne.

Ist dieser physikalische Charakter der Schwebungen im wesentlichen der nämliche, ob die Zahl derselben groß oder klein ist, so bieten nun aber ihre psychologischen Eigenschaften je nach ihrer Geschwindigkeit

[1] L. W. Stern, Psychologie der Veränderungsauffassung. 1898, S. 82, 187 ff. Zeitschrift für Psychologie, Bd. 21, 1899, S. 360. Bd. 22, S. 1 ff.

bemerkenswerthe Unterschiede dar. Man kann diese am deutlichsten verfolgen, wenn man zwei Stimmgabeln von gleicher Tonhöhe, deren eine durch Laufgewichte verstimmbar ist, wie in Fig. 170, anwendet. Geht man durch allmähliche Verschiebung der Laufgewichte vom Einklang aus zu wachsenden Verstimmungen über, so sind die Erscheinungen, die sich bei gleichzeitigem Erklingen der beiden Gabeln darbieten, theils intensiver theils qualitativer Art. Intensiv lassen sie sich in drei Hauptstadien sondern, die durch die Curven in Fig. 175 veranschaulicht werden, bei denen vorausgesetzt ist, dass die beiden Töne von annähernd gleicher Intensität seien. In dem ersten Stadium (*A*), das den geringsten Unterschieden der Schwingungszahl entspricht, beobachtet man dann ein regelmäßiges, langsames An- und Abschwellen des Klanges, wobei in der Mitte

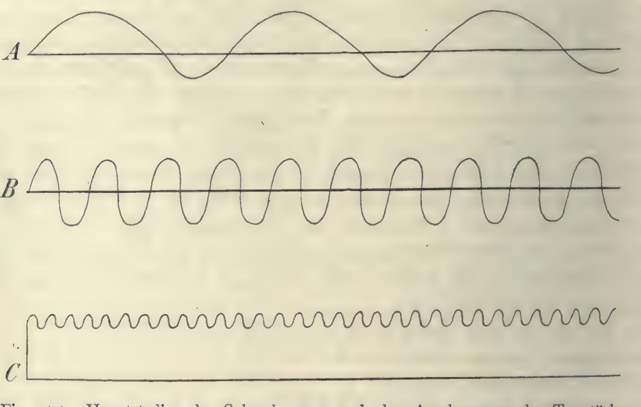


Fig. 175. Hauptstadien der Schwebungen nach den Aenderungen der Tonstärke.

zwischen je zwei Maximis die Tonintensität während einer kurzen Zeit auf null herabgeht, was in der Fig. 175 durch ein Sinken unter die Abscissenlinie angedeutet ist. Dieses Stadium umfasst die Phänomene der eigentlichen Schwebungen, insofern man unter dem »Schweben des Tones« wesentlich dieses An- und Abschwellen versteht. Mit der Zunahme der Schwebungen geht dann die Erscheinung bald in das zweite Stadium (*B*) über, welches wir nach seinem subjectiven Charakter als das der Tonstöße bezeichnen wollen. Es ist dadurch charakterisirt, dass nur noch die Maxima und die Minima der Tonbewegung, jene als kurze Stöße, diese als ebensolche Pausen, bemerkbar sind. Hat die Tonbewegung die größte Geschwindigkeit erreicht, die hier möglich ist, so sind Tonstoß wie Pause vollkommen

momentane Erscheinungen, und der Eindruck geht je nach der Tonlage in den eines rollenden, rasselnden oder schwirrenden Geräusches über. Bei noch weiterer Steigerung der Schwingungsdifferenzen schließt sich endlich hieran das dritte Stadium (C). Es ist dadurch gekennzeichnet, dass die Pausen verschwinden, während die Tonstöße noch bemerkbar bleiben. Dadurch verlieren aber nun diese den Charakter wirklicher Stöße; sie erscheinen nur noch als überaus rasch auf einander folgende Erzitterungen über einem continuirlich anhaltenden Klang: dies ist diejenige Form der Schwebungen, die man als Rauhigkeit des Klangs zu bezeichnen pflegt. Die Grenzwerthe der Schwebungen, dei denen diese verschiedenen Stadien in einander übergehen, sind nun mit der Tonhöhe veränderlich, indem sie mit wachsender Tonhöhe nach aufwärts rücken. Doch scheint dies weniger für die zwei ersten als für das letzte Stadium zu gelten. Dabei wird zugleich diese Aufeinanderfolge durch zwei Erscheinungen in entgegengesetztem Sinne complicirt. Erstens werden, sobald die Tondistanzen in consonante Intervalle übergehen, die Schwebungen bedeutend abgeschwächt oder verschwinden ganz. Da aber diese Intervalle bei um so kleineren Unterschieden der absoluten Schwingungszahlen eintreten, je tiefer die Töne sind, so ist das Schwebungsphänomen bei den tiefsten Tönen überhaupt nur bis zu dem Stadium der Tonstöße (B) zu verfolgen. Zweitens bilden sich, wie wir unten sehen werden, im allgemeinen bei einem Zusammenklang resultirende Töne, die Differenztöne, die selbst wieder theils unter einander theils mit den primären Tönen Schwebungen und Tonstöße sowie neue Differenztöne mit den gleichen Folgeerscheinungen erzeugen. Dadurch wird das Phänomen der Schwebungen ein ungemein verwickeltes, und da auch diese secundären Schwebungen wieder bei den consonanten Intervallen zurücktreten, so steigt in Folge der zunehmenden Ausdehnung der zwischen den schwebungsfreien Punkten gelegenen Tonstrecken diese Verwickelung mit der Tonhöhe. Am schärfsten lassen sich daher die obigen Stadien da, wo sich diese verschiedenen Einflüsse einigermaßen compensiren, also in einer mittleren Lage der musikalischen Scala, etwa von $c^1 = 256$ bis $c^2 = 512$ Schw., verfolgen. Dabei erreichen die Tonstöße ihr Maximum nahe bei 30 Schwebungen in der Sec., um dann in Rauhigkeit (Stadium C) überzugehen, die selbst wieder bei etwa 60 verschwindet, während freilich zugleich durch die oben erwähnten Schwebungen der Differenztöne sowie bei Klängen mit Obertönen durch die Schwebungen dieser mit einander und mit den primären Tönen secundäre Tonstöße sich beimengen, welche die Beobachtung des Phänomens der primären Schwebungen bedeutend erschweren können. In manchen Fällen hat man darum auch gewisse Tonstöße ohne weiteres als Schwebungen von Obertönen gedeutet, die jedenfalls nur theilweise auf solche zu

beziehen sind. Dies gilt besonders von den Tonstößen, die ein Ton mit seiner verstimmten Octave erzeugt, und die an Zahl durchaus den Schwebungen seines ersten Obertons mit dieser verstimmten Octave entsprechen. Da aber die gleichen Tonstöße auch noch bei vollkommen obertonfreien Klängen auftreten, so müssen schon die beiden primären Töne Schwebungen mit einander bilden. In der That erhellt die Möglichkeit dieser auch bei obertonfreien Klängen ohne weiteres, wenn man z. B. dem unteren Wellenzug *ab* in Fig. 174 eine doppelt so große Anzahl von Wellen gibt: dann trifft nämlich bei *m* zwar nicht das ganze Thal der oberen mit einem Berg der unteren Welle zusammen, aber es deckt sich doch die Mitte des ersteren mit einem solchen Berg. Diese Interferenzen werden dann freilich noch verstärkt, wenn außerdem ein Wellenzug von der doppelten Schwingungszahl der oberen Welle (der erste Oberton) hinzutritt.

Zugleich mit den oben geschilderten intensiven Veränderungen im Verlaufe der Schwebungen treten nun stets auch qualitative Veränderungen auf, wodurch die ohnehin durch die Beziehungen zur Consonanz und Dissonanz der Intervalle entstehenden Verwickelungen weiter complicirt werden. Am einfachsten ist das Verhalten während des Stadiums der beginnenden Schwebungen (*A*). Hier wird die Interferenz überhaupt nur als ein intensives Schweben des Tones ohne merkbare Höhenänderung desselben gehört. Das ändert sich beim Uebergang in das Stadium der Tonstöße (*B*). Auch jetzt hört man zunächst immer noch nur einen Ton. Indem aber bereits der Höhenunterschied ein merklicher wird, wirkt dieser Unterschied in dem Sinne, dass der gehörte Ton als eine mittlere Resultante aus dem höheren und dem tieferen Tone erscheint: man hört in Wahrheit keinen der primären Töne, sondern einen Zwischenton, der zuerst dem tieferen der Primärtöne näher liegt, dann allmählich in die Mitte und zuletzt in die Nähe des höheren Primärtones rückt. Bald tritt dann aber das Phänomen qualitativ in ein neues Stadium, indem neben dem stoßenden Zwischenton, dessen Tonhöhe immer unsicherer wird, die beiden Primärtöne hervortreten. Dies geschieht jedoch in wechselnder Weise, indem entweder nur der eine, oder nur der andere, oder beide neben einander hörbar werden. Auf diese Weise gestaltet sich nun das Schwebungsphänomen zu einer aus drei Bestandtheilen zusammengesetzten Erscheinung. Man hört nämlich erstens ein dauerndes Geräusch, das allmählich aus dem ursprünglichen Zwischenton hervorgegangen ist, und das nicht mehr als Tonhöhe, sondern nur noch als ungefähre Tonlage aufgefasst wird, indem es je nach der mittleren Tonhöhe derselben als rollendes, schnurrendes, klirrendes, schwirrendes Geräusch bezeichnet werden kann. Daneben hört man zweitens den tieferen,

und drittens den höheren der beiden schwebenden Töne, aber beide intermittirend, so zwar, dass zuweilen nur einer von ihnen, zuweilen aber beide neben einander wahrzunehmen sind. Diese Intermissionen erfolgen jedoch in einer sehr viel langsameren Periode als die des begleitenden Geräusches. Zugleich nimmt diese Periode der Intermissionen bei wachsender Tondistanz ab, während die Stöße des dauernden Geräusches an Geschwindigkeit zunehmen (Stadium *C*). Endlich hört man neben dem Geräusch beide Töne dauernd, während jenes in den höheren Tonlagen in ein continuirliches zuerst lauteres, dann leises Zischen übergeht. Indessen kann, nachdem auf diese Weise die Schwebungen verschwunden sind, noch abwechselnd nur der eine oder der andere der Töne neben dem Geräusch hervortreten. Man überzeugt sich aber leicht, dass diese Erscheinung nun nicht mehr von wirklichen Intermissionen der Töne, sondern von jenen Schwankungen der Aufmerksamkeit herrührt, die überall sich einstellen, wo sich eine Mehrheit von Eindrücken gleichzeitig zur Apperception drängt. (Vgl. Abschn. V.) Das die Töne begleitende Geräusch, dessen eigene Tonlage immer unbestimmter wird, während in ihm selbst die hörbaren Intermissionen verschwinden, wird schließlich nur noch als eine den neben einander erklingenden Tönen anhaftende Rauhigkeit oder Heiserkeit aufgefasst, bis auch sie verschwindet und nur noch die beiden continuirlichen Tonempfindungen übrig lässt.

Mit den Erscheinungen der Schwebungen verbinden sich nun, wie schon bemerkt, in den meisten Fällen die der Combinationstöne. Doch können die letzteren auch ohne gleichzeitige Schwebungen auftreten, woraus sich schon ergibt, dass sie ein von diesen unabhängiges Phänomen sind. Ihre Entstehung beruht zwar ebenfalls auf einer Interferenz der Schwingungen zusammenklingender Töne. Während aber bei den Schwebungen die Interferenz, gemäß der eigentlichen Bedeutung dieses Begriffs, in der wechselnden Verstärkung und Schwächung der Schwingungsbewegungen zum Ausdruck kommt, beruhen die Combinationstöne auf resultirenden Tonbewegungen, die an die Interferenz von Tönen verschiedener Schwingungszahl gebunden sind. Hierbei setzt dann die Entstehung solcher resultirender Tonbewegungen besondere Eigenschaften der schwingenden Gebilde voraus, daher nur unter bestimmten, eben durch diese Eigenschaften erzeugten Bedingungen Combinationstöne entstehen, während sich die direct auf den Interferenzerscheinungen beruhenden Schwebungen unter allen Umständen bilden, wo die zusammentreffenden Töne die geeigneten Unterschiede der Schwingungszahlen besitzen. Sind jedoch durch die Eigenschaften eines schwingenden Mediums, auf das verschiedene Töne gleichzeitig einwirken, jene Bedingungen zur Entstehung resultirender Wellen gegeben, so können diese nun in einer doppelten Form

auftreten. Denken wir uns das schwingungsfähige Gebilde in Fig. 176 durch die Linie ab repräsentirt, so werden zwei Wellenzüge n_1 und n_2, die gleichzeitig auf dasselbe einwirken, an den Stellen, wo die in der Fig. 176 durch Punkte angedeuteten Wellenberge zusammentreffen, als neue, resultirende Schwingungsimpulse wirken können; und da, wie uns bereits das Phänomen der Schwebungen gezeigt hat, die Häufigkeit dieses Zusammentreffens dem Unterschied der Schwingungszahlen entspricht, so kann ein Ton entstehen, dessen Schwingungen der Differenz der Schwingungen der beiden Primärtöne gleichen. Man nennt hiernach diesen Ton, der auf der Linie ab durch die dickeren Punkte angedeutet ist, den Differenzton D. Kommen z. B. auf je 2 Schwingungen des einen Primärtons 3 des andern, so macht der Ton D in der gleichen Zeit eine Schwingung, d. h. er ist die tiefere Octave des ersten Primärtons. Neben dieser ersten, weitaus wichtigsten Art der Combinationstöne gibt es aber noch eine zweite, die dadurch entstehen kann, dass die das

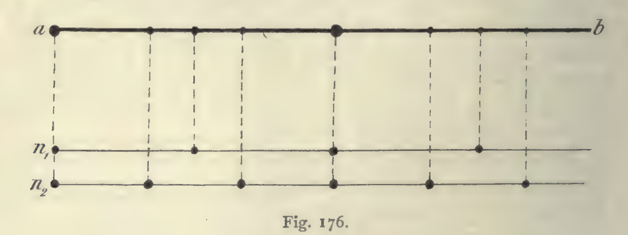


Fig. 176.

Gebilde $a\,b$ erregenden Wellen wegen ihrer verschiedenen Frequenz als selbständige Schwingungsimpulse auf $a\,b$ einwirken. In Folge dessen können sie bei genügender Stärke, indem die durch die sämmtlichen Punkte auf der Linie $a\,b$ angedeuteten Schwingungsimpulse sich zu regelmäßig periodischen Schwingungen ordnen, wiederum eine resultirende Bewegung erzeugen, deren Schwingungszahl der Summe der Schwingungen der beiden Primärtöne n_1 und n_2 entspricht. Man nennt daher diesen hohen Combinationston den Summationston S. Ist z. B. das Verhältniss der Töne $n_1 : n_2 = 2 : 3$, so ist $S = 5$, d. h. die Terz der höheren Octave des Tones n_1. Diese von HELMHOLTZ entdeckten Summationstöne sind jedoch nur ausnahmsweise wahrzunehmen, und sie sind durchweg viel schwächer als die Differenztöne[1]. Auch fallen sie bei zusammengesetzten

[1] HELMHOLTZ, POGGENDORFFs Annalen der Physik, Bd. 99, S. 497 ff. Lehre von den Tonempfindungen[4], S. 258 ff. Seitdem mehrfach bestritten, sind sie gleichwohl in gewissen Fällen zweifellos Bestandtheile des Zusammenklangs.

Klängen häufig mit andern Klangbestandtheilen, namentlich mit Differenztönen der Obertöne zusammen. Wir können sie daher, als Phänomene von ausschließlich physikalischem Interesse, die bei den psychologischen Eigenschaften der Klänge keine nennenswerthe Rolle spielen, im Folgenden außer Betracht lassen.

Um so wichtigere Empfindungsbestandtheile sind die Differenztöne, theils weil sie meist sehr deutlich wahrnehmbare Elemente des Zusammenklangs bilden, theils weil sie durch die Wirkungen, die sie auf die primären Töne und auf einander ausüben, zu neuen Differenztönen Anlass geben und so einen relativ einfachen Zusammenklang in eine sehr zusammengesetzte Tonmasse umwandeln können. Physikalisch kann der Entstehungsort der Differenztöne ein doppelter sein: entweder, wenn auch freilich nur ausnahmsweise, ist das schwingungsfähige Medium ein Luftraum außerhalb des Ohres; oder dasselbe besteht in irgend welchen Theilen des Gehörapparates selbst. Danach unterscheidet man objective und subjective Differenztöne[1]. Objective Differenztöne entstehen, so viel bis jetzt nachgewiesen ist, in merklichem Grade nur dann, wenn die primären Töne in einem und demselben Luftraum erzeugt werden, wenn man z. B. an einer sogenannten Doppelsirene durch zwei Löcherreihen von verschiedener Anzahl die Luft in den Luftraum der Sirene eindringen lässt; ebenso beobachtet man solche an dem Harmonium oder an den APPUNN'schen Tonmessern (Fig. 173, S. 84), während sie an der Orgel trotz der großen Stärke der Klänge fehlen, da diese hier in von einander unabhängigen Lufträumen entstehen. Die objectiven Differenztöne sind stets daran erkennbar, dass sie durch Resonatoren (Fig. 172), die auf sie abgestimmt sind, verstärkt werden, während diese auf die erst im Ohr entstehenden Töne natürlich keinen Einfluss ausüben[2]. Viel wichtiger als diese objectiven sind aber die subjectiven Differenztöne, die nicht nur zu den objectiven hinzutreten, wo die Bedingungen zu diesen ausnahmsweise vorhanden sind, sondern die sich auch bei allen andern gleichzeitig auf das Ohr einwirkenden Tönen von verschiedener Schwingungszahl in demselben bilden können. Ihr Entstehungsort im Ohr ist noch zweifelhaft; und da die Frage nach demselben für die Theorie der Gehörsempfindungen von großer Bedeutung ist, so werden wir auf sie erst unten näher eingehen (f). Hier soll daher nur die Beschaffenheit der Differenztöne geschildert werden, wie sie sich in der unmittelbaren Beobachtung der Tonempfindungen, und zwar zunächst unter der

[1] K. L. SCHÄFER, PFLÜGERS Archiv, Bd. 78, 1900, S. 505 ff.

[2] Auch durch leicht erregbare Stimmgabeln, die in Mitschwingungen gerathen, lassen sich solche objective Differenztöne mit großer Sicherheit nachweisen (RÜCKER and EDSER, Phil. Mag., vol. 39, 1895, p. 341).

einfachsten Bedingung, beim Zusammenklingen einfacher Töne, zu erkennen gibt. Wendet man zusammengesetzte Einzelklänge an, so werden durch die Obertöne, die selbst wieder Schwebungen und Combinationstöne erzeugen können, die Erscheinungen wesentlich complicirter.

Seinen oben erörterten Entstehungsbedingungen gemäß ist nun auch das Phänomen der Differenztöne ein mit der Tondistanz der Primärtöne veränderliches, das intensive wie qualitative Unterschiede darbietet, unter denen aber die letzteren in diesem Fall die am meisten hervortretenden sind, während außerdem das Auftreten von Differenztönen verschiedener Ordnung, das sich je nach der Intervallgröße der primären Töne verschieden verhält, eine wechselnde Rolle spielt. Verstimmt man nämlich vom Einklang ausgehend das Intervall zweier Töne allmählich mehr und mehr, so tritt ein tiefer Differenzton auf, sobald der Unterschied der Schwingungszahlen die Grenze der unteren hörbaren Töne merklich überschritten hat: der Differenzton erster Ordnung; man bezeichnet ihn mit D_1. Seine Schwingungszahl ist $n_2 - n_1$, wenn n_1 und n_2 die Schwingungszahlen der beiden primären Töne sind. Dieser erste Differenzton bildet aber mit dem ersten Primärton zusammen einen zweiten Differenzton $D_2 = n_1 - D_1 = 2n_1 - n_2$. Dazu kann dann noch kommen ein Differenzton 3. Ordnung $D_3 = D_2 - D_1 = 3n_1 - 2n_2$, ferner ein solcher 4. Ordnung $D_4 = D_3 - D_1 = 4n_1 - 3n_2$, mit dem nun in der Regel die Grenze der Hörbarkeit erreicht ist. Diese Differenztöne höherer Ordnung besitzen, wie man sieht, durchweg größere Schwingungszahlen als der erste D_1, und sie pflegen daher schon bei kleinen Intervallen, bei denen dieser selbst noch gar nicht hörbar ist, hervorzutreten. So ist, wenn n_1 und n_2 Töne von 256 und 268 Schw. sind, $D_1 = 12$ natürlich nicht als Ton, sondern nur in der Form von Schwebungen hörbar; aber $D_2 = 256 - 12 = 244$, $D_3 = D_2 - D_1 = 232$ und $D_4 = D_3 - D_1 = 220$ Schw. können, sofern sie nur stark genug sind, gehört werden. Freilich sind sie, wenn, wie in diesem Beispiel, die verschiedenen Töne sehr nahe zusammenfallen, und wenn sich außerdem noch Schwebungen und Zwischentöne bilden, unter Umständen schwer zu unterscheiden. Ueberdies bilden bei allen Differenztönen mit Ausnahme des ersten gewisse harmonische Intervalle Wendepunkte, bei denen der Differenzton verschwindet, um dann mit einer Umkehrung der seitherigen Schwingungsdifferenz bei weiterer Verstimmung wieder einzusetzen. Beim zweiten Differenzton D_2 bildet die Octave diesen Wendepunkt. Denn indem bei der Octave $D_1 = 2n_1 - n_1 = n_1$ mit dem ersten Primärton zusammenfällt, verschwindet $D_2 = n_1 - D_1$, um nun jenseits dieses Punktes mit umgekehrtem Vorzeichen, als $D_2 = D_1 - n_1 = n_2 - 2n_1$, wieder zu erscheinen. Aehnlich bildet innerhalb der Octave die Quinte einen Wende-

punkt für den dritten Differenzton, indem diesseits derselben $D_3 = D_2 - D_1$, jenseits $= D_1 - D_2$ und beim Intervall der Quinte selbst $= 0$ wird, da $D_2 - D_1 = 3n_1 - 2n_2$ für das Intervall $n_1 : n_2 = 2 : 3$ verschwindet. Der vierte Differenzton endlich verschwindet nicht bloß bei der Quinte, sondern auch bei der Quarte und großen Sext, und er wechselt demnach dreimal innerhalb der Octave sein Vorzeichen. Bis zur Quarte ist $D_4 = D_3 - D_1 = 4n_1 - 3n_2$, von da zur Quinte $= D_1 - D_3 = 3n_2 - 4n_1$, von hier zur großen Sext $= D_2 - D_3 = 5n_1 - 3n_2$, und von ihr zur Octave $= D_3 - D_2 = 3n_2 - 5n_1$. Hieraus erhellt, dass die einfachen harmonischen Intervalle eine ähnliche Stellung zu den Differenztönen einnehmen wie zu den Schwebungen: sie sind ebensowohl relativ arm an Differenztönen, wie frei von Schwebungen. Dazu kommt dann aber noch der weitere diese Intervalle auszeichnende Charakter, dass, je einfacher sie sind, um so mehr die übrig bleibenden Differenztöne selbst wieder in einem einfachen Verhältniss zu den primären Tönen stehen. So verschwinden bei der Octave alle Differenztöne, bei der Quinte bleiben D_1 und D_2 bestehen, aber beide fallen zusammen und stehen zu den primären Tönen in dem Verhältniss $1 : 2 : 3$. Bei der Quarte kommt neben D_1 und D_2 auch noch D_3 zur Geltung, fällt aber wieder mit D_1 und D_2 zusammen, und alle diese Differenztöne bilden also mit den primären die Reihe $1 : 3 : 4$, u. s. w. Auf diesem Zusammenfallen mehrerer Differenztöne beruht es, dass bei den harmonischen Intervallen innerhalb der Octave die Differenztöne besonders stark sind. Im allgemeinen sind aber die Differenztöne ähnlich zurücktretende Klangbestandtheile wie die Obertöne der Einzelklänge, und zugleich pflegt ihre Intensität mit ihrer Ordnungszahl abzunehmen, so dass die Töne höherer Ordnung meist nur schwer wahrnehmbar sind und nur dann sich merklicher geltend machen, wenn sie sich durch ihre Coincidenz verstärken. Sind die Primärklänge selbst nicht einfache Töne, sondern enthalten sie Obertöne, so treten nun aber weiterhin zu den primären Differenztönen verschiedener Ordnung noch secundäre hinzu, wobei wir mit diesem Namen solche bezeichnen wollen, die die Obertöne theils mit einander theils mit den primären Differenztönen bilden, und die nun natürlich ebenfalls wieder von verschiedener Ordnung sein können. Dadurch wird jeder Zusammenklang ein überaus verwickeltes Gebilde, wobei sich übrigens auch hier die Verhältnisse dadurch etwas vereinfachen, dass einzelne dieser Theiltöne zusammenfallen, und dass andere zu schwach sind, um einen bemerkbaren Einfluss auf den Klangcharakter auszuüben. So fällt z. B. der primäre Differenzton, der beim Zusammenklang eines Tones mit einem seiner Octave naheliegenden Tone entsteht, vollständig mit dem secundären Differenztone zusammen, den der erste Oberton jenes ersten Tons mit dieser Octave bildet, und ähnlich coincidiren

auch sonst die primären durchweg mit secundären Differenztönen. Meist hat man darum überhaupt den ersten Differenzton D_1 für den einzigen primären gehalten, und auch diesen nur bei den Intervallen innerhalb der Octave. Da aber D_2, D_3, D_4 und nicht minder D_1 für Intervalle jenseits der Octave unter günstigen Umständen noch bei vollkommen obertonfreien Klängen beobachtet werden, so ist diese Zurückführung aller Differenztöne höherer Ordnung und größerer Intervalle auf Obertöne nicht haltbar. Auch sieht man leicht, dass, wenn man z. B. in der Fig. 176 (S. 98) die Anzahl der Wellenberge von $n_2 = 8$ nimmt, dadurch eine resultirende Bewegung $D = 4$ entsteht, die demnach mit dem ersten Primärton zusammenfällt, wogegen sich bei der verstimmten Octave ein Differenzton bildet, und gleichzeitig Schwebungen mit dem tieferen Ton eintreten. In den Verhältnissen, welche so die Zusammenklänge je nach den Intervallen und der Zusammensetzung der Primärtöne darbieten, sind aber alle wesentlichen Eigenschaften der musikalischen Klänge und Klangverbindungen begründet, die uns, weil sie dem Gebiet der Vorstellungsbildung angehören, erst im nächsten Abschnitte beschäftigen werden. Hier waren die Entstehungsbedingungen sowie die Eigenschaften der Schwebungen und der Combinationstöne nur insoweit zu erörtern, als diese selbst zu den Elementen der Klangvorstellungen gehören.

Für die Untersuchung der Schwebungen und Combinationstöne ist es, um der Vereinfachung der Bedingungen willen, unter denen diese ohnehin verwickelten Erscheinungen stehen, von besonderer Wichtigkeit, dass man sich möglichst einfacher, d. h. obertonfreier Klänge bediene. Zu diesem Zweck müssen schon die mit Resonanzräumen verbundenen Stimmgabeln eine möglichst günstige Form besitzen. Gleichmäßig dicke, kürzere Gabeln sind daher, obgleich sie kürzer nachklingen, günstiger als schlanke, lange nachklingende, bei denen sich leichter Knotenpunkte bilden, und die nicht selten den ersten Oberton noch sehr deutlich mitklingen lassen. Um aber jede Spur eines Obertons zu beseitigen, kann man überdies einen Interferenzapparat anwenden, der es gestattet, einen bestimmten Theilton eines Klangs oder auch mehrere Theiltöne durch die Interferenz entgegengesetzter Schwingungsphasen desselben Tones auszulöschen. Man kann zu diesem Zweck entweder den Klang durch zwei Zweigleitungen führen, die um eine halbe Wellenlänge des auszulöschenden Tones verschieden sind und an ihren Enden wieder zusammenmünden (QUINCKES Interferenzapparat); oder man kann an eine Hauptröhre, durch die der Klang geleitet wird, in angemessenen Abständen senkrechte Seitenröhren ansetzen, die oben durch einen verschiebbaren Kolben verschlossen sind, und deren Länge ein Viertheil der Wellenlänge des auszulöschenden Tones beträgt, so dass die in das Hauptrohr zurückkehrende reflectirte Welle wieder einen Unterschied von einer halben Wellenlänge besitzt (NÖRREMBERGS Interferenzapparat). Im letzteren Fall ist zwar die Verminderung der Tonstärke wegen der Schwächung durch die Reflexion eine minder vollkommene. Da sich aber die Ansatzröhren in beliebiger Zahl anbringen lassen, so ist schließlich

doch eine vollkommenere Auslöschung des Tones möglich als bei den Interferenzapparaten der ersten Art. Die Fig. 177 stellt eine solche Versuchsanordnung dar, bei der die Einrichtungen derart getroffen sind, dass zwei Stimmgabelklänge verglichen werden können, von denen nur der eine auf die Auslöschung eines bestimmten Theiltones eingestellt ist, während der andere unverändert dem Ohr des Beobachters zugeleitet werden kann. Der letztere befindet sich in einem entfernten Raum, der durch ein in der Fig. 177 in den beiden Mauerzeichnungen rechts angedeutetes, für Schall undurchlässiges »Stillezimmer« von dem Experimentirraum getrennt ist[1].

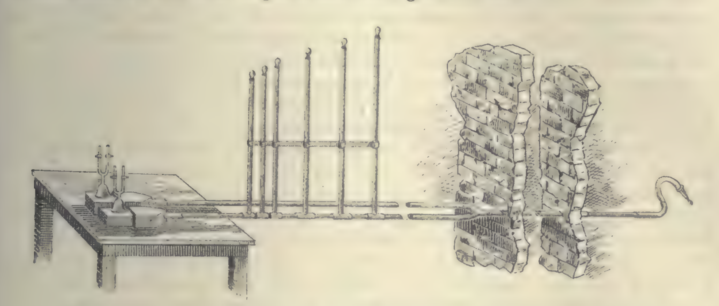


Fig. 177. Interferenzapparat zur Auslöschung von Theiltönen eines Klangs.

Das Phänomen der Schwebungen hat, seit so langer Zeit es auch die Aufmerksamkeit der Musiker und Physiker auf sich lenkte, doch in Bezug auf seine subjective Seite bis in neuere Zeit nur eine geringe Beachtung gefunden. Man begnügte sich in der Regel mit der allgemeinen Ableitung aus der Interferenz, ohne den psychologischen Eigenthümlichkeiten der Erscheinungen, die man mit der Bezeichnung von »Störungen des Zusammenklangs« abthat, näher nachzugehen. Eingehendere Beschreibungen des Phänomens haben, außer HELMHOLTZ[2], namentlich S. TAYLOR[3], BOSANQUET[4], STUMPF[5] und FELIX KRUEGER[6] gegeben. HELMHOLTZ erkannte den Zwischenton, den er jedoch zuerst als einen im Wechsel mit den primären Tönen auftretenden, dann als einen hin- und herschwankenden Ton auffasste. BOSANQUET beobachtete, dass bei einer geringeren Anzahl von Stößen der einzige hörbare Ton dieser Zwischenton ist, und dass auf ihm, der im übrigen bei einem bestimmten Intervall in seiner Höhe constant bleibt, die Schwebungen ruhen, während erst bei weiterer

[1] Vgl. die nähere Beschreibung bei FELIX KRUEGER, Philos. Stud. Bd. 16, 1900, S. 311 ff. Eines ähnlichen Interferenzapparates hat sich schon SAUBERSCHWARZ unter GRÜTZNERS Leitung zur Analyse der Vocalklänge bedient (PFLÜGERS Archiv, Bd. 61, 1895, S. 1 ff.). Einen Interferenzapparat der ersten Art (nach QUINCKE) benützte M. MEYER, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 11, 1896, S. 190.

[2] HELMHOLTZ, Lehre von den Tonempfindungen², S. 247. ⁴ S. 274.

[3] TAYLOR, Phil. Mag. (4) vol. 44, 1872, p. 56.

[4] BOSANQUET, Phil. Mag. (5) vol. 13, 1882, p. 406.

[5] STUMPF, Tonpsychologie, Bd. 2, S. 449 ff.

[6] F. KRUEGER, Philos. Stud. Bd. 16, 1900, S. 323, 573 ff.

Zunahme der Tonstöße dazu die primären Töne hinzutreten und ihn dann verdrängen. Im wesentlichen stimmen damit auch die Beschreibungen von STUMPF und KRUEGER überein. Was die Beobachtung der Phänomene in hohem Grade erschwert und darum auch manche widersprechende Angaben erklärt, ist die relativ feste Verbindung aller der Ton- und Geräuschempfindungen, die, sobald die rascheren Tonstöße beginnen, das Schwebungsphänomen begleiten, zu einer einheitlichen Vorstellung, sowie in den späteren Stadien die Gefahr, ein bloßes Wandern der Aufmerksamkeit zwischen den verschiedenen Bestandtheilen mit Veränderungen dieser Bestandtheile selbst zu verwechseln. Es scheint mir namentlich, dass jene Verbindung die Beobachter oft veranlasst hat, die Intermissionen des allmählich aus dem Zwischenton hervorgehenden Geräusches auf die nun hinzutretenden primären Töne zu übertragen, die in Wirklichkeit viel langsamere und bei noch größerer Distanz gar keine Intermissionen mehr zeigen, sondern solche nur noch durch die Schwankungen der Aufmerksamkeit vortäuschen. Man überzeugt sich von diesen Verhältnissen am besten, wenn man zuerst nur den einen Ton angibt, dann den zweiten hinzutreten lässt und nun jenen in dem entstehenden Ton- und Geräuschcomplex mit der Aufmerksamkeit festzuhalten sucht. Noch weniger als die qualitativen haben im allgemeinen die intensiven Unterschiede des Schwebungsphänomens in seinen verschiedenen Stadien die zureichende Beachtung gefunden, indem man meistens die eigentlichen Schwebungen, die Tonstöße und die Rauhigkeit des Klangs kaum auseinanderhielt und wohl auch die Schwebungen der entstehenden Differenztöne nicht immer von denen der primären Töne schied, so dass die Wahrnehmung einzelner Intermissionen, die von diesen herrührten, auf den primären Zusammenklang bezogen wurde. Nur hierdurch erklären sich wohl so exorbitante Angaben wie die von STUMPF, dass man sogar noch über die Zahl von 400 in der Secunde in den höheren Tonlagen Schwebungen wahrnehmen könne[1]. Schon das Gebiet der Rauhigkeitsempfindung lässt keinerlei deutliche Intermissionen mehr erkennen, und man vermag darum hier eine kleinere Beschleunigung oder Verlangsamung der Schwebungen nicht mehr zu unterscheiden. Die eigentliche Rauhigkeit lässt sich am ehesten mit der Empfindung vergleichen, die der Tastsinn vermittelt, wenn man eine rauhe Fläche berührt, bei der die Ungleichheitspunkte weit unter der Tastschwelle liegen, z. B. eine Mattglasplatte. Gerade so wenig wie man hier noch Raumdistanzen zwischen den einzelnen Punkten der Platte wahrnimmt, gerade so wenig ist jene ebenmäßige Rauhigkeit eine intermittirende Empfindung. Ich verhalte mich demnach allen Behauptungen gegenüber, nach denen noch weit über 60 Schwebungen als solche wahrnehmbar sein sollen, skeptisch. Ich glaube, dass sie theils auf mangelhafter psychologischer Unterscheidung der verschiedenen Stadien des Schwebungsphänomens theils auf der Vermengung mit den Schwebungen von Differenztönen beruhen.

Aehnlichen Schwierigkeiten wie die genaue Verfolgung der Schwebungen zweier einfacher Töne begegnet der Versuch, die Grenze hörbarer Intermittenzen dadurch zu bestimmen, dass man einen einzigen continuirlich andauernden Ton in regelmäßig auf einander folgenden Pausen unterbricht und auf diese Weise das Schwebungsphänomen in seinen verschiedenen Stadien an einem einzigen Ton hervorbringt. Solche Schwebungen eines Einzeltones

[1] STUMPF, Tonpsychologie, Bd. 2, S. 461.

lassen sich nach dem Vorgange von R. König und A. M. Mayer[1] erzeugen, wenn man eine Stimmgabel in der in Fig. 171 angegebenen Weise vor einem Resonator schwingen lässt, während zugleich zwischen Stimmgabel und Resonator eine mit Löchern versehene Scheibe mit gleichmäßiger Geschwindigkeit rotirt. Leitet man dann einem entfernten Ohr durch einen Kautschukschlauch die durch die Scheibe unterbrochenen Tonwellen zu, so nimmt dieses Ohr Tonstöße wahr, die mit wachsender Geschwindigkeit der Scheibe immer schneller werden und zuletzt sich zu einem continuirlichen Eindruck verbinden. Zugleich kann bei geeigneter Geschwindigkeit ein der Zahl der Stöße entsprechender Unterbrechungston entstehen. Bei der von Mayer gewählten Anordnung, bei welcher der Durchmesser der Löcher halb so groß war als ihr Abstand, ergaben sich je nach Tonhöhe t und Schwingungszahl n der Töne in zwei an verschiedenen Personen und zu verschiedener Zeit ausgeführten Versuchsreihen (I und II) folgende Werthe (d) für die Zahl der Tonstöße in der Sec., bei der die Empfindung continuirlich wurde. l bezeichnet die Zahl der Wellen, die hierbei auf einen einzelnen Tonstoß kamen.

t	n	d		l	
		I	II	I	II
c	64	16	25	4	2,5
c	128	26	45	4,9	2,8
c^1	256	47	70	5,4	3,6
g^1	384	60	102	6,4	3,7
c^2	512	78	130	6,5	3,9
e^2	640	90	152	7,1	4.1
g^2	768	109	166	7,0	4,6
c^3	1024	135	180	7,6	5,6

Auch hier kommt in Betracht, dass, ähnlich wie bei den Schwebungen, Differenztöne entstehen, die unter einander und mit dem primären Ton Schwebungen bilden können, und die bei den Unterbrechungen eines einzelnen Tones im allgemeinen wohl noch leichter als bei den Schwebungen zweier Töne mit dem Primärton verbunden werden, weil sich hier die Stöße nur bei großer Intensität zu einem deutlichen Intermittenzton zusammensetzen, während gleichwohl die entsprechenden objectiven Interferenzphänomene entstehen und auf den primären Ton einwirken können. Diese Versuche über Tonunterbrechung würden daher die Frage nach der zum Uebergang der intermittirenden in eine continuirliche Empfindung erforderlichen Geschwindigkeit nur dann sicher entscheiden lassen, wenn dem Unterbrechungston, wie man dies früher glaubte, überhaupt keine objectiven Schwingungen entsprächen, sondern wenn er nur ein subjectives Phänomen wäre, etwa darauf beruhend, dass der Hörnerv regelmäßige Intermissionen der Reizung überhaupt als Ton auffasste. Nun kann man aber, wie K. L. Schäfer und O. Abraham zeigten, die objective Existenz der Unterbrechungstöne dadurch nachweisen, dass sie Resonatoren, die auf sie abgestimmt sind, zum Mitschwingen anregen, was natürlich nicht sein könnte, wenn sie erst im Ohr entstünden[2].

---

[1] R. König, Poggendorffs Annalen, Bd. 157, 1876, S. 228. Quelques expériences d'acoustique. 1882, p. 140. A. M. Mayer, Amer. Journal of sciences, 3, vol. 8, 1874, p. 241, vol. 47, 1894, p. 3. Aehnliche Versuche mit im wesentlichen übereinstimmendem Ergebniss hat außerdem Urbantschitsch (Pflügers Archiv, Bd. 25, 1882, S. 328) ausgeführt.

[2] Schäfer und Abraham, Pflügers Archiv, Bd. 83, 1901, S. 207. Bd. 85, S. 536. Bd. 88, S. 475.

Lassen diese Versuche aus den angedeuteten Gründen die Grenze, bei der intermittirende in continuirliche Tonempfindungen übergehen, nicht mit Sicherheit erkennen, so sind sie nun aber, im Hinblick auf den allgemeinen Verlauf der Schwebungscurven (Fig. 175), der für solche intermittirende Einzeltöne ebenfalls zutrifft, auch nicht geeignet, die Zeit des Abklingens einer Tonerregung bestimmen zu lassen. Da vielmehr bei den schnellsten Unterbrechungen der Ton niemals ganz auf Null herabsinkt, so fällt der letzte Theil der Abklingungsperiode eines einzelnen Tonstoßes immer noch in die Zeit des Anklingens eines folgenden. Doch kann man nach den obigen Zahlen vermuthen, dass die tiefen Töne der absoluten Zeit nach langsamer, und relativ, nämlich im Verhältniss zu ihren Schwingungszahlen, schneller abklingen als die hohen Töne.

Abweichend von den Unterbrechungen eines einzelnen Tones verhalten sich übrigens rasche Aufeinanderfolgen mehrerer Töne, wie sie beim Trillern oder in musikalischen Passagen vorkommen. In diesem Fall wird man die Entstehung von Interferenzerscheinungen als ausgeschlossen ansehen dürfen. Anderseits wird aber wohl anzunehmen sein, dass der Wechsel verschiedener Töne an und für sich die Auffassung derselben im Vergleich mit dem Intensitätswechsel eines einzigen Tones erschwert. Dem entsprechend fanden O. Abraham und K. L. Schäfer, als sie an einer rotirenden Scheibe mit abwechselnder und auf verschiedene Töne eingestellter Löcherreihe Triller hervorbrachten, die Trillerschwelle in allen musikalisch verwendeten Octaven annähernd gleich groß, nämlich = 0,03—0,04 Sec., was etwa 30 einzelnen Tonstößen in der Sec. entsprechen würde. Dieselbe Zahl ergab sich auch bei musikalischen Figuren. Sank die Dauer des Einzeltones unter jene Schwelle, so wurde ein rauher Zusammenklang gehört[1]. Jene Zeit fällt hiernach ungefähr mit derjenigen zusammen, bei der die Tonstöße der Schwebungen eben noch wahrnehmbare leere Tonpausen erkennen lassen.

Außer den bisher erwähnten Verfahrungsweisen zur Erzeugung intermittirender Tonempfindungen lässt sich schließlich auch noch die Einwirkung von Tönen verschiedener Schwingungszahl auf die beiden Ohren unter Bedingungen anwenden, unter denen die Luftleitung der Töne vom einen Ohr zum andern ausgeschlossen ist. Es entsteht dann das Phänomen der sogenannten binauralen Schwebungen. Obgleich sich nun aber, falls man hinreichend schwache Töne anwendet, eine Luftübertragung leicht vermeiden lässt, so bleibt doch die Möglichkeit, dass auch hier jedes Ohr durch beide Töne erregt wird, weil immer noch eine Leitung des Schalls durch die Schädelknochen stattfinden kann. In der That stehen sich daher in der Interpretation dieser viel untersuchten Erscheinung zwei Annahmen gegenüber. Nach der einen sollen die Schwebungen ausschließlich durch Knochenleitung zu stande kommen, also von dem gewöhnlichen monauralen Schwebungsphänomen nicht wesentlich verschieden sein. Nach der andern sollen sie auch dann noch entstehen, wenn keine Knochenleitung stattfindet, so dass nur ein centraler Ursprung derselben möglich ist[2]. Nun ist es wohl nicht zu

---

[1] O. Abraham und K. L. Schäfer, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 20, 1901, S. 408.

[2] Für den centralen Ursprung der binauralen Schwebungen sprachen sich aus Dove, der das Phänomen zuerst untersuchte, und dem die Unmöglichkeit, auf dieselbe Weise Differenz-

bezweifeln, dass in den früheren Versuchen nicht selten der Fehler begangen wurde, die Knochenleitung schon dann als ausgeschlossen anzunehmen, wenn eine solche durch die äußeren Schädelknochen (Schläfe, Scheitel, Hinterhauptsbein) unwahrscheinlich war, während sie doch noch, wie besonders SCHÄFER hervorhob und durch Versuche nachwies, durch die inneren Schädelknochen (Gehörknöchelchen, Schädelbasis, Felsenbein) stattfinden kann. Im allgemeinen schloss daher dieser Beobachter, sobald die Schwebungen im Innern des Kopfes localisirt würden, sei dies als ein Zeichen ihrer Entstehung durch Knochenleitung anzusehen. Dabei stützte er sich auf die Thatsache, dass der Ort der Schwebungen wandert, wenn die relative Intensität der beiden Töne wechselt: die Schwebungen nähern sich nämlich stets der Seite des stärkeren Tones und rücken bei gleicher Tonstärke in die Mitte des Kopfes. Doch ist dies freilich kein sicheres Kriterium, da wir auch einen nur einem Ohr zugeleiteten schwachen Ton, wenn wir ihn aufmerksam beobachten, wahrscheinlich in Folge der später (Abschn. V) zu besprechenden, in den äußeren Schädelmuskeln entstehenden Spannungsempfindungen der Aufmerksamkeit, in der Mitte des Kopfes localisiren. Es liegt nun nahe, die Frage dadurch entscheiden zu wollen, dass man die den beiden Ohren zugeleiteten Töne so weit abschwächt, dass jeder zwar von dem Ohr seiner Seite noch eben gehört wird, dass aber eine Knochenleitung zum andern Ohr nicht mehr stattfindet. Da die Knochenleitung immerhin aller Wahrscheinlichkeit nach bei einem normalen Gehörorgan weniger leicht anspricht als die directe durch das Trommelfell zum Labyrinth der gleichen Seite, so wird man annehmen dürfen, dass dieser Punkt erreicht ist, wenn sich der Ton für das gleichseitige Ohr nur eben über der Schwelle befindet. Bei den nach diesem Gesichtspunkt von G. MELATI im »Stillezimmer« ausgeführten Versuchen, bei denen rechts und links aus anstoßenden Räumen die Töne durch geradlinig geführte Röhren den beiden Ohren zugeführt wurden, zeigte es sich aber, dass sich, sobald man der Schwelle nahe kommt, ein anderes Phänomen einmengt, welches die Entscheidung unmöglich macht. Dasselbe besteht in der Entstehung der später (Abschn. V) zu erörternden Schwankungen der Aufmerksamkeit, vermöge deren gerade bei der Reizschwelle fortwährend die Eindrücke bald über, bald unter die Schwelle treten. Da diese Schwankungen im allgemeinen ebenfalls ein regelmäßig periodisches Phänomen sind, so täuschen sie, auch wenn nur ein einziger Ton einwirkt, Schwebungen vor, die aber eine ganz wechselnde, und bei der Anwendung von zwei Tönen eine von deren Schwingungsdifferenz unabhängige Periode besitzen. Schließlich bleiben so

töne zu erzeugen, als ein Hauptbeweis galt (Repertorium der Physik, Bd. 3, 1839, S. 494), ferner S. P. THOMPSON (Philos. Mag. vol. 4, 1877, p. 274. vol. 6, 1878, p. 383), CROSS und GOODWIN (Proc. of the Amer. Acad. vol. 27, 1891, p. 10), E. W. SCRIPTURE (Philos. Stud. Bd. 7, 1892, S. 631. Bd. 8, 1893, S. 638) und EWALD (PFLÜGERS Archiv, Bd. 57, 1894, S. 80). Für die Entstehung durch Knochenleitung traten ein SEEBECK (POGGENDORFFS Annalen, Bd. 68, 1846, S. 449), MACH (Sitzungsber. der Wiener Akad. Math.-naturw. Cl. Bd. 50, 2, 1864, S. 342), STUMPF (Tonpsychologie, Bd. 2, S. 208), und besonders K. L. SCHÄFER (Zeitschrift für Psychologie, Bd. 2, 1891, S. 111. Bd. 4, 1892, S. 348. Bd. 5, 1893, S. 397. PFLÜGERS Archiv, Bd. 61, 1895, S. 544). In einem gewissen Zusammenhang mit dieser Frage steht die andere, ob schwache Töne von gleicher Höhe binaural gehört sich verstärken, und ob diese Verstärkung ebenfalls central, wie URBANTSCHITSCH (PFLÜGERS Archiv, Bd. 31, 1883, S. 280) und BLOCH (Zeitschrift für Ohrenheilkunde, Bd. 24, 1893, S. 25) annehmen, oder, wie SCHÄFER vermuthet, durch Knochenleitung zu erklären sei.

nur noch zwei Erscheinungen übrig, die möglicher Weise auf eine centrale Entstehung binauraler Schwebungen hinweisen. Die eine besteht darin, dass mehrere zuverlässige Beobachter, wie THOMPSON und MELATI, die Entstehung von Schwebungen zwischen einem subjectiven (in Folge einer katarrhalischen Affection im Mittelohr entstandenen) Ton der einen und einem objectiven Ton der andern Seite wahrnahmen[1]. Anderseits freilich konnte STUMPF, der längere Zeit sowohl einen subjectiven Dauerton wie variable Töne in seinem einen Ohr sowie zeitweise Unterschiede in der Höhenempfindung der Töne mit beiden Ohren, sogenannte »Diplakusis«, beobachtete, niemals Schwebungen constatiren[2]. Vielleicht sind weitere Beobachtungen solcher Fälle von Seiten der Ohrenärzte im stande diese Widersprüche zu heben. Es könnte ja sein, dass in gewissen Fällen die subjective Tonerzeugung nur im nervösen Apparat, in andern in den Zuleitungsapparaten stattfände, in welchen letzteren dann natürlich auch die Möglichkeit einer inneren Knochenleitung nicht ganz ausgeschlossen wäre. Auffallender ist eine zweite Erscheinung. Sie besteht darin, dass bei sehr schwachen Tönen, bei denen man aber noch deutlich Schwebungen der zugeleiteten Töne (nicht bloße Aufmerksamkeitsschwankungen) wahrnimmt, diese »binauralen Schwebungen« einen andern Charakter als die gewöhnlichen monauralen besitzen. Solche schwache binaurale Schwebungen sind erstens sanfter: sie bewahren, auch wenn die sonst dem Stadium der Tonstöße entsprechende Geschwindigkeit erreicht ist, immer noch den Typus der eigentlichen Schwebungen (*A* Fig. 175); zweitens verschwinden die Intermissionen viel früher, indem die Empfindung in die reine, ohne Rauhigkeit gehörte Dissonanz übergeht[3]. Es bedarf noch der näheren Untersuchung, ob diese Unterschiede durch die Interferenz der Schwingungen bei ihrer Leitung durch die Schädelknochen veranlasst sein können, oder ob sie, wenn diese Ursache ausgeschlossen ist, auf den Einfluss centraler Elemente bezogen werden müssen, in denen sich die von beiden Seiten zugeleiteten Erregungen begegnen. Selbstverständlich lässt sich diese Alternative nicht a priori, sondern nur durch Versuche und eventuell durch die physikalische Analyse der Interferenzerscheinungen in festen Körpern entscheiden. A priori ist es in Anbetracht der Verhältnisse der Gehörnervenreizung ebenso gut möglich, dass die Wellenform der Erregung in den Acusticusfasern noch erhalten bleibt, wie dies thatsächlich in den Muskelnerven geschieht, wo sich die intermittirende Erregung in den der Geschwindigkeit der Reizfolge entsprechenden Tonschwingungen des Muskels verräth. Danach würde in Bezug auf den Acusticus die Frage lauten, ob die im peripheren Nerven intermittirende Reizung sich als solche in den mannigfachen Kreuzungsfasern, welche die centrale Acusticusleitung darbietet (Fig. 77, Bd. 1, S. 181), nach der andern Seite fortpflanzt, oder ob schon in den Zellen des Spiralganglions die intermittirende in eine continuirliche Erregung umgewandelt wird.

Mehr als die Schwebungen haben schon seit langer Zeit die Combinationstöne im Hinblick auf ihre musikalische Bedeutung die Aufmerksamkeit der Physiker gefesselt. Von dem deutschen Organisten SORGE 1740 entdeckt,

---

[1] MELATI, Philos. Stud. Bd. 17, 1901, S. 452.
[2] STUMPF, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 21, 1901, S. 117.
[3] MELATI, a. a. O. S. 457 f. STUMPF, Tonpsychologie, Bd. 2, S. 470 f.

sind sie dann von dem italienischen Musiker TARTINI beschrieben und nach ihm zuweilen auch TARTINI'sche Töne genannt worden. Der Erste, der von ihrer Entstehungsweise Rechenschaft zu geben suchte, war THOMAS YOUNG, dessen Auffassung längere Zeit die herrschende blieb. Danach nahm man an, jede regelmäßige Intermission einer Bewegung werde von dem Hörnerven als Ton empfunden, und es setzten sich daher die Schwebungen, sobald ihre Geschwindigkeit die untere Tongrenze erreiche, zu einem Tone zusammen. Der Erste, der im Gegensatz hierzu eine objective Entstehung der Combinationstöne durch die Bildung resultirender Tonschwingungen annahm, scheint DOVE gewesen zu sein, dem SEEBECK sich anschloss[1]. HELMHOLTZ, der neben den Differenz- die Summationstöne nachwies (vgl. oben S. 98), vermittelte insofern zwischen beiden Ansichten, als er zeigte, dass sich unter gewissen Bedingungen Combinationstöne objectiv in der äußeren Luftmasse hervorbringen lassen, wie z. B. in dem Luftraum einer Doppelsirene oder in dem Windkasten der Physharmonica, dass sie aber weitaus in den meisten Fällen erst im Gehörorgan entstehen. Dabei nahm er dann aber gleichwohl eine der objectiven analoge Entstehung dieser subjectiven Combinationstöne an, indem er durch die mathematische Analyse nachwies, dass solche resultirende Töne namentlich dann leicht entstehen könnten, wenn die Tonwellen auf asymmetrisch gebildete schwingungsfähige Theile einwirkten. HELMHOLTZ vermuthete diese Theile, wie schon vor ihm SEEBECK, in dem Trommelfell und den Gehörknöchelchen[2]. Dagegen glaubte später R. KÖNIG neben den Differenztönen noch eine zweite Classe aus der Interferenz der Schwingungen entspringender Töne unterscheiden zu müssen, die er als Stoßtöne bezeichnete, und zu denen er insbesondere alle diejenigen Töne rechnete, die bei einfachen Klängen in Folge der Verstimmung der Octave und der harmonischen Intervalle innerhalb der Octave entstehen. Hinsichtlich dieser Stoßtöne glaubte er aber wegen ihrer abweichenden Entstehungsbedingungen wieder auf die ältere Voraussetzung zurückgehen zu müssen, dass sich Intermissionen des Schalls, sofern sie nur regelmäßig seien, zu einer Tonempfindung zusammensetzten. Er berief sich dabei namentlich auch auf die oben erwähnten »Intermittenztöne«. Auf Grund rein mathematischer Betrachtungen suchte dann auch W. VOIGT die Entstehung einer solchen doppelten Form resultirender Töne wahrscheinlich zu machen[3]. Während jedoch KÖNIG für die eigentlichen Combinationstöne die HELMHOLTZ'sche Erklärung beibehielt und nur die Hörbarkeit der letzteren gegenüber den Stoßtönen wesentlich einschränkte, erhoben andere Forscher speciell gegen jene Erklärung schwerwiegende Bedenken. Namentlich wurde geltend gemacht, dass Personen mit völlig mangelndem Trommelfell unter Umständen die Combinationstöne hören[4], und dass zuweilen, z. B. bei verklingenden Stimmgabelklängen, die Differenztöne die Stärke der primären Töne erreichen können, während sie nach der HELMHOLTZ'schen Theorie immer von viel geringerer Intensität sein müssten[5]. Die auf diese

---

[1] DOVE, Repertorium der Physik, Bd. 2, 1839, S. 404. SEEBECK, ebend. Bd. 8, 1849, S. 108.

[2] HELMHOLTZ, POGGENDORFFS Annalen, Bd. 99, S. 497 ff. PFLÜGERS Archiv, Bd. 1, 1868, S. 1 ff.

[3] KÖNIG, Quelques expériences d'acoustique. 1882, p. 138 ff. WIEDEMANNS Annalen, Bd. 12, S. 335. Bd 39, S. 395. W. VOIGT, ebend. Bd. 40, S. 652.

[4] DENNERT, Archiv für Ohrenheilkunde, Bd. 24, S. 171 ff.

[5] L. HERMANN, PFLÜGERS Archiv, Bd. 49, S. 499 ff.

Weise sehr verwickelt gewordene Frage ist nun schließlich durch zwei Nachweise wesentlich vereinfacht worden. Der eine ergibt sich aus der sorgfältigen subjectiven Analyse der Zusammenklänge, welche F. KRÜGER nach verbesserten Methoden ausführte, und durch die es ihm gelang, wesentlich alle von R. KÖNIG angenommenen Stoßtöne auf Differenztöne höherer Ordnung zurückzuführen. Da man früher in der Regel nur den ersten Differenzton als den direct durch die Primärtöne eines Zweiklangs erzeugten anerkannte, so pflegte man nach dem Vorgang von HELMHOLTZ unter »Differenztönen höherer Ordnung« vorzugsweise die von Obertönen herrührenden Combinationstöne zu verstehen. Dann blieb aber allerdings für eine Menge aus dem Zusammenklang heraushörbarer Differenztöne entweder überhaupt keine Stelle, oder diese Töne waren doch von einer in Anbetracht der sonstigen geringen Intensität der Differenztöne unwahrscheinlichen Stärke. Dagegen ordnen sich die sogenannten Stoßtöne vollständig dem System der Differenztöne unter, wenn man annimmt, wie dies zuerst auf Grund theoretischer Erwägungen HÄLLSTRÖM[1] ausführte, dass schon einfache Töne in ihrem Zusammenklang ein System von Differenztönen verschiedener Ordnung hervorbringen. Indem F. KRÜGER die Existenz dieser primären Differenztöne verschiedener Ordnung bei vollkommen obertonfreien Klängen experimentell nachwies, ergibt sich hieraus, wie oben dargelegt, eine einheitliche Betrachtung des gesammten Systems der Combinationstöne[2].

Zu diesem ersten kommt als ein zweites, mit ihm principiell übereinstimmendes Moment der von SCHÄFER und ABRAHAM gelieferte Nachweis, dass die Unterbrechungstöne ebenfalls mit großer Wahrscheinlichkeit als Combinationstöne zu betrachten sind, und demnach, ebenso wie die neben dem ersten Differenzton gehörten Nebentöne einfacher Zusammenklänge, die Einführung einer besonderen Classe resultirender Töne specifischen Ursprungs nicht erforderlich machen[3]. Es bleiben so nur die Bedenken übrig, die sich gegen die Erklärung der subjectiven Combinationstöne aus resultirenden Schwingungen in den Gebilden des Mittelohres erheben. Diese Bedenken richten sich aber nicht sowohl gegen die auf Grund der Analyse der Zusammenklänge nachgewiesenen psychologischen Eigenschaften derselben, als vielmehr gegen die physiologischen Annahmen, die über die specielle Entstehungsweise gewisser Elemente dieser complexen Empfindungen gemacht worden sind. Wir werden darum erst bei der kritischen Betrachtung der physiologischen Hörtheorien (f) auf die Frage zurückkommen können, wie diese Schwierigkeiten möglicher Weise zu beseitigen sind.

d. Absorption und Verschmelzung von Tönen.

In der obigen Erörterung der Klänge und der Zusammenklänge sind uns mehrfach zwei Erscheinungen entgegengetreten, die, obgleich sie sich in ihrer Beschaffenheit und darum muthmaßlich auch in ihren Entstehungsbedingungen wesentlich unterscheiden, doch darin übereinstimmen, dass

---

[1] HÄLLSTRÖM, POGGENDORFFS Annalen, Bd. 24, 1832, S. 438.

[2] FELIX KRÜGER, Zur Theorie der Combinationstöne. Philos. Stud. Bd. 17, 1901, S. 185 ff.

[3] SCHÄFER und ABRAHAM, PFLÜGERS Archiv, Bd. 88, 1901, S. 475 ff.

sie eine Vereinfachung der Klangphänomene herbeiführen. Wir wollen das eine dieser Phänomene als das der Tonabsorption, das andere als das der Tonverschmelzung bezeichnen.

Von einer Tonabsorption können wir reden, wenn von zwei oder mehr Tönen ein einzelner die übrigen vollständig in der Empfindung auslöscht, ohne dass dies auf ein bloß durch Stärkeunterschiede bedingtes Uebertäuben dieser anderen Töne zurückgeführt werden kann. Von dem letzteren unterscheidet sich die Absorption wesentlich dadurch, dass sie bei Tönen von vollkommen gleicher Stärke eintreten kann, und dass es niemals möglich ist, in der durch die Wechselwirkung der Töne entstehenden resultirenden Empfindung durch noch so aufmerksames Analysiren des Klangs eine Spur der absorbirten Töne nachzuweisen, indem der nach der Absorption zurückbleibende Ton einen durchaus einfachen Charakter bewahrt. Eines der auffallendsten Beispiele dieser Tonabsorption ist die Auslöschung der beiden Töne eines nur von der Prime wenig abweichenden Zusammenklangs durch den Zwischenton (S. 96). Hier absorbirt dieser im Gehörorgan entstehende Ton die beiden primären Töne und lässt sie erst bei einem etwas größer werdenden Intervall, aber auch dann zunächst nur abwechselnd und mit Unterbrechungen, worin sich ein partielles Fortwirken der Absorption zu verrathen scheint, hervortreten. Aehnlich tritt eine solche Absorption bei Differenztönen ein, die um relativ wenige Schwingungen von einander entfernt liegen. Auch hier scheint wieder ein Zwischenton zu entstehen, der je nach Umständen dem tieferen oder höheren der ursprünglichen Differenztöne näher oder auch in der Mitte zwischen ihnen liegt, so dass das Phänomen vollständig auf das vorige zurückführt. Da nun der Zwischenton, wenn er sich auch erst im Gehörorgan bildet, doch ohne allen Zweifel auf einer selbständigen resultirenden Erregung in demselben beruht, so handelt es sich hier aller Wahrscheinlichkeit nach um eine Interferenzwirkung von Erregungen im peripheren Organ, und die Absorption ist also muthmaßlich kein der Empfindung selbst, sondern ein dem Gebiet der physiologischen Reizung angehörender Vorgang, über den demnach die physiologische Theorie der Gehörsreizung Rechenschaft zu geben hat (vgl. unten f)[1].

Wesentlich anders verhält es sich mit der Tonverschmelzung. Unter ihr verstehen wir nämlich ausschließlich solche resultirende Wirkungen

[1] Hiernach braucht wohl kaum noch besonders bemerkt zu werden, dass die hier als Tonabsorption beschriebene Erscheinung mit dem, was Th. Lipps als »psychische Absorption« bezeichnet, nichts zu thun hat (Sitzungsber. der Münchener Akademie. Phil.-hist. Cl. 1901, S. 549 ff.). Die Tonabsorption ist eine im Gehörorgan entstehende »physische Absorption«. Die von Lipps sogenannte »psychische Absorption« fällt aber ganz und gar in das Gebiet der Apperceptionsverbindungen.

gleichzeitiger Töne, bei denen die einzelnen Elemente noch in der unmittelbaren Empfindung nachweisbar sind. Dadurch unterscheidet sich die Tonverschmelzung nicht bloß von der Tonabsorption, sondern auch von den meisten Wirkungen der Reizmischung in andern Sinnesgebieten, wo in den resultirenden Empfindungen keine Spur ihrer Componenten zu entdecken ist, so dass diese Resultanten ebenso einfach erscheinen, wie jede einzelne ihrer Componenten. Augenfällige Beispiele dieser wesentlich verschiedenen Formen bilden auf der einen Seite die Verbindung des Grundtons mit seinen Obertönen in einem Einzelklang, auf der anderen die Aufhebung zweier Farben bei ihrer Mischung zu Weiß oder zu einer zwischen ihnen liegenden einfachen Farbe. Das Weiß, das aus der Mischung von Roth und Grün, oder auch das Orange, das aus der von Roth und Gelb hervorgeht, ist eine einfache, keine doppelte Empfindung. In dem Klang vermögen wir aber die Obertöne wirklich zu hören, und nur soweit wir hierzu im stande sind, nehmen wir überhaupt eine Tonverschmelzung an. Hieraus erhellt, dass der zur Farbenmischung analoge Process die Tonabsorption ist, wenn diese auch, den verschiedenen Bedingungen der Schallreizung entsprechend, nach ihren physiologischen Bedingungen wesentlich abweicht. Im Gebiet der chemischen Sinne gehört hierher die wechselseitige Compensation von Geruchs- und Geschmacksempfindungen, während man dagegen in jenen Mischgeschmäcken, in denen die Componenten noch zu erkennen sind, wohl eher ein der Tonverschmelzung analoges Phänomen sehen könnte, wenn nicht hier der Umstand, dass die Zunge an ihren einzelnen Stellen für die verschiedenen Geschmäcke eine abweichende Erregbarkeit besitzt, zugleich eine theilweise räumliche Sonderung der Reize herbeiführte (S. 56).

Aus allem diesem erhellt, dass die Tonverschmelzung, im wesentlichen Unterschiede von der Tonabsorption sowie von den Compensationsphänomenen im Gebiet der chemischen Sinne, ein psychischer Vorgang ist. Natürlich können bei ihm, so gut wie bei anderen psychischen Vorgängen, zugleich physiologische Begleiterscheinungen im Spiele sein; aber dann sind diese auf alle Fälle centraler, nicht peripherer Natur. Von der psychischen Seite aus betrachtet gehören nun die Tonverschmelzungen unverkennbar in das große Gebiet der Associationsvorgänge, insofern wir unter diesen, wie es consequenter Weise geschehen muss, alle die Verbindungen zwischen psychischen Elementen verstehen, die sich in unserem Bewusstsein fortwährend vollziehen, ohne dass dabei die Willensvorgänge eine erkennbare Rolle spielen. Hierdurch wird eine abschließende Betrachtung der Tonverschmelzungen an dieser Stelle unmöglich, da ihr psychologischer Charakter erschöpfend eben nur im

Zusammenhang mit der Bildung der einzelnen Formen der Gehörsvorstellungen und schließlich mit der Gesammtheit der Associationsprocesse untersucht werden kann. Aber insofern eine solche Untersuchung doch hinwiederum nur auf Grund der einzelnen Thatsachen möglich ist, werden schon hier, zunächst unter Einschränkung auf die bei den Einzelklängen, den Zusammenklängen und den Geräuschen wahrzunehmenden Erscheinungen, die Tonverschmelzungen zu erörtern sein.

Bei allen diesen Erscheinungen charakterisirt sich nun die Tonverschmelzung in der unmittelbaren Wahrnehmung stets als eine Verbindung von Empfindungen, in der eine einzelne vorherrscht. Wir bezeichnen diese als die dominirende, die übrigen als die modificirenden Empfindungen. Dieses Vorherrschen einer Einzelempfindung wird begünstigt, wenn dieselbe auch durch ihre Intensität die andern übertrifft. Ein Beispiel hierfür bieten die gewöhnlichen Einzelklänge, in denen der Grundton, der dominirende Ton, in der Regel bedeutend stärker ist als die ihn modificirenden Obertöne. Aber wenn man simultan eine Reihe von Tönen mit gleicher Stärke angibt, die der Reihe der Theiltöne eines Klangs entspricht, so bleibt auch hier der tiefste der Töne dominirender Ton. Macht man z. B. diesen Versuch an einem Obertöneapparat, der ähnlich dem Tonmesser (S. 84) construirt ist und einen Grundton mit seinen Obertönen enthält, oder lässt man die Töne von Stimmgabeln, die der Reihe der Theiltöne eines Klangs entsprechen, durch eine Einrichtung wie in Fig. 171, S. 82, simultan auf das Ohr eines entfernten Beobachters einwirken, so erhält man vollkommen den Eindruck des Einzelklangs, trotz der Zusammensetzung aus einer Summe annähernd gleich starker Töne. Bei harmonischen Accorden tritt zwar die dominirende Empfindung mehr zurück, und man hat darum unmittelbar den Eindruck einer zusammengesetzten Empfindung; gleichwohl bleibt auch hier noch eine Empfindung als die dominirende bestehen, und auch sie ist nicht sowohl von der Tonstärke als von den qualitativen Verhältnissen der Töne abhängig. Bei dem Dreiklang *c e g* ist z. B. *c*, bei dem Dreiklang *c es g* ist *g* der dominirende Ton. Es wird erst bei der Untersuchung der zusammengesetzten Klangvorstellungen am Platze sein, auf die Bedingungen dieses Wechsels der dominirenden Empfindungen näher einzugehen. Hier ist diese Thatsache nur als ein Beispiel der wichtigen Rolle, die bei den Tonverschmelzungen die dominirende Empfindung spielt, hervorzuheben. Sobald nun neben ihr modificirende Elemente vorhanden sind, bedarf es, namentlich wenn diese zugleich schwächere Klangbestandtheile sind, einer besonderen Richtung der Aufmerksamkeit, um sie wahrzunehmen. Diese Richtung und ihre Wirkung auf die Unterscheidung eines einzelnen der modificirenden Elemente ist das

was man die »Analyse« des Klangs oder Zusammenklangs nennt. Der Zustand der Analyse ist also nichts anderes als ein Zustand auf die Tonelemente gerichteter Aufmerksamkeit, der ebenso wenig die Gesammtempfindung als solche verändert, wie dies sonst bei der Apperception irgend welcher Bewusstseinsinhalte der Fall ist[1]. Vielmehr unterscheiden wir hier, wie überall, die Richtung der Aufmerksamkeit auf das Wahrgenommene von dem Wahrgenommenen selbst. Eben deshalb haben wir dann aber auch unmittelbar den Eindruck, dass die bei der Analyse stattfindende Aufmerksamkeitsspannung der im Bewusstsein vorhandenen Klangempfindung nichts hinzufügt, was dieser nicht auch ohne sie zukäme.

Indem nun jene mit der Richtung auf die einzelnen Bestandtheile des Klangs verbundene Anspannung der Aufmerksamkeit, die wir auch weiterhin kurz als »Klanganalyse« bezeichnen wollen, das Mittel ist, um die einzelnen Empfindungen, die in einem Einzelklang oder Zusammenklang enthalten sind, zu erkennen, bleibt zugleich die größere oder geringere Schwierigkeit dieser Analyse das einzige Maß, um etwaige Gradunterschiede der Tonverschmelzung zu unterscheiden. Dass es solche Gradunterschiede gibt, lehrt uns ja übrigens nicht bloß die Vergleichung der Einzelklänge und der Zusammenklänge, sondern schon die der verschiedenen Einzelklänge mit einander, da unter diesen manche vorkommen, bei denen sich modificirende Theiltöne sofort, andere, bei denen sie sich nur bei großer Anspannung der Aufmerksamkeit zu erkennen geben. Besäßen wir die Hülfsmittel, um die Grade der Aufmerksamkeitsspannung exact messen zu können, so ließe sich vielleicht die Innigkeit, mit der ein modificirendes Element von gegebener Stärke mit dem dominirenden verschmilzt, dem Grade der Aufmerksamkeitsspannung, der zu seiner Erkennung erforderlich ist, umgekehrt proportional setzen. Ein solches Hülfsmittel besitzen wir aber nicht. Dagegen gibt es einen andern Weg, auf dem sich annähernd dasselbe Ziel erreichen lässt. Wir sind nämlich bei zureichender Uebung leicht im stande, während einer kurzen Zeit die Aufmerksamkeit in einer constanten maximalen Größe anzuspannen; und wir können weiterhin mit zureichender Wahrscheinlichkeit voraussetzen, dass bei solch constanter Spannung die Leistung der Aufmerksamkeit innerhalb einer kurzen Zeit der Dauer ihrer Spannung proportional sein werde, da sich jeder sehr kleine Theil einer Function einem linearen Verlaufe nähert. Demnach besteht das sich von selbst darbietende Verfahren und zugleich das einzige einigermaßen exacte, welches möglich ist, darin, dass man die Zeit bestimmt, die bei maximal gespannter Aufmerksamkeit

[1] Vgl. oben Cap. VI, Bd. 1, S. 323, und unten Abschn. V.

erforderlich ist, um eine Empfindung aus der Verbindung, in der sie als verschmolzener und nicht als dominirender Bestandtheil enthalten ist, zu isoliren. Hierbei zeigt sich nun zunächst, dass auf die gewonnenen Ergebnisse die Dauer der kurzen Zeiten, während deren sich die Aufmerksamkeit auf den Klang richtet, einen entscheidenden Einfluss hat. Die kürzesten überhaupt möglichen Zeiten sind bei solchen Beobachtungen natürlich diejenigen, die gerade zureichen, um eine Klangmasse eben noch in ihre Elemente zu zerlegen. Diese Minimalzeiten der Klangzerlegung suchte R. SCHULZE für den einfachsten Fall, nämlich bei der Einwirkung von Zweiklängen, in der Weise zu bestimmen, dass einem in einem entfernten Raum befindlichen geübten Beobachter von vorzüglichem musikalischem Gehör ein Zusammenklang durch ein Schallrohr zugeleitet wurde. Dieser bestand aus zwei einfachen Stimmgabeltönen von gleicher Stärke, und er wurde, nachdem die Stimmgabeln in Schwingung gebracht waren, während des Ausklingens derselben jedesmal in einer sehr kurzen, aber zwischen gewissen Grenzen abzustufenden Zeit zugeführt. Der zu diesem Zweck angewandte Apparat war derselbe wie bei den oben (S. 91) erwähnten Versuchen über die kleinste als Ton empfindbare Schwingungszahl: ein schwingendes Pendel öffnete eine in die Schallröhre eingeschaltete, die Tonbewegung absolut zurückhaltende Hahnvorrichtung, um dieselbe nach einer genau abzumessenden Zeit wieder zu schließen. Die kleinste verwendbare und noch genau bestimmbare Zeit betrug 0,004, die größte 2 Sec. Die folgende Tabelle gibt nun in der ersten Horizontalreihe die angewandten Intervalle, die sämmtlich zwischen dem Tone $c^1 = 256$ und $c^2 = 512$ Schw. lagen, in der zweiten die zur Erkennung der Zweiheit der Töne erforderliche Zeit in Tausendtheilen einer Sec.

e^1f^1	c^1d^1	d^1f^1	c^1e^1	c^1f^1	f^1h^1
140	37	24	9	7	6
(Kl. Sec.)	(Gr. Sec.)	(Kl. Terz)	(Gr. Terz)	(Quarte)	(Ueberm. Quarte)

e^1h^1	e^1c^2	d^1h^1	d^1c^2	c^1h^1	c^1c^2
7	6	6	7	7	7
(Quinte)	(Kl. Sext)	(Gr. Sext)	(Kl. Septime)	(Gr. Septime)	(Octave)

Die angegebenen Zahlen sind nicht absolut genau, weil durch die Reflexionswirkungen der Schallwellen möglicher Weise die Dauer des Klangs um Werthe von etwa $0{,}5\,\sigma$ ($1\,\sigma = {}^1/_{1000}$ Sec.) verlängert sein konnte, was aber bei der Kleinheit dieser Zeit an dem Gesammtergebniss nichts ändert. Hiernach ist der Grad der Verschmelzung zweier Töne bei möglichst kurzer Einwirkung derselben direct von der Höhendistanz derselben abhängig, indem er mit wachsendem Höhenunterschied zuerst sehr rasch zunimmt, und dann (bei mittleren Tonhöhen etwa von der großen Terz

an) constant bleibt. Dagegen ist er von den Verhältnissen der Intervalle ganz und gar unabhängig, indem Consonanzen nicht im geringsten vor Dissonanzen bevorzugt erscheinen. So ist die zur Erkennung der Zweiheit der Töne erforderliche Zeit für die kleine Secunde weitaus am größten, und für die kleine und große Septime ist sie nicht merklich verschieden von der Octave u. s. w.[1]. Mit diesen Ergebnissen stimmen Versuche von STUMPF, die nach anderer Methode und bei im ganzen etwas größeren Zeiten ausgeführt wurden, in allem Wesentlichen überein[2].

Ganz anders verhalten sich dagegen die Erscheinungen, wenn man die Zeiten des Klangeindrucks zwar immer noch hinreichend kurz nimmt, um während derselben einer zureichenden Constanz der Aufmerksamkeit versichert zu sein, aber doch auch lang genug, dass die qualitativen Verhältnisse der Klangbestandtheile zum Einfluss gelangen. Lässt man z. B. verschiedene Zusammenklänge, wiederum bei gleicher Intensität der Einzelklänge, jedesmal 2 Sec. lang gleichmäßig einwirken, so tritt nun ein deutlicher Einfluss der Intervalle hervor. Er zeigt sich am stärksten dann, wenn man Töne, die zusammen einem Grundton mit seinen Obertönen entsprechen, mit irgend welchen andern, consonanten oder dissonanten Intervallen vergleicht. Hier ergibt sich nämlich, dass die Glieder einer Obertonreihe bei gleicher Tonintensität um so weniger mit dem Grundton verschmelzen, je weiter sie von diesem abstehen, und je weniger sie durch zwischenliegende Obertöne mit ihm verbunden sind. Der Dreiklang *A a e* (1 : 2 : 3), in welchem *A* den Ton von 108, *a* seine Octave von 216 Schw. bezeichnet, wurde z. B. schwerer zerlegt als der Zweiklang *A e* (1 : 3). Näheres erhellt aus den beiden folgenden Tabellen, deren erste Versuche mit beliebigen Zweiklängen, und deren zweite solche mit Zusammenklängen enthält, die Obertonreihen eines vollständigen Klanges sind. Die Versuche waren in diesem Fall so eingerichtet, dass jeder Zusammenklang im unregelmäßigen Wechsel mit andern 60 mal, aber 2 Sec. lang, sonst aber nach derselben Methode wie oben, geboten wurde. Die unter den Tönen verzeichneten Zahlen bezeichnen die Fälle, in denen der Klang als ein einziger Ton, und zwar jedesmal als der tiefste der zusammenklingenden Töne, gemäß dem Princip des dominirenden Tones, aufgefasst wurde. Auch diese Reihe stammt von einem musikalischen, in der Klanganalyse geübten Beobachter her[3].

---

[1] R. SCHULZE, Philos. Stud. Bd. 14, 1898, S. 485.

[2] STUMPF, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 27, 1901, S. 161 ff.

[3] R. SCHULZE, a. a. O. S. 475 ff. Unter drei Beobachtern, die an diesen Versuchen theilnahmen, vermochten die musikalisch weniger geübten auch nur unvollkommener zu analysiren. Die Unterschiede bei den einzelnen Zusammenklängen waren daher bei ihnen kleiner, liegen aber in der gleichen Richtung. STUMPF hat auch hier ähnliche Versuche ausgeführt, allerdings bei der etwas kürzeren Einwirkungszeit von 1 Sec., ist jedoch zu ent-

I. Zweiklänge.

Aa (1 : 2)	Ae^1 (1 : 3)	Aa^1 (1 : 4)	$Acis^2$ (1 : 5)	Ae^2 (1 : 6)
55	**52**	**21**	**16**	**2**

ae^1 (2 : 3)	$acis^2$ (2 : 5)	a^1e^2 (4 : 6)	e^1e^2 (3 : 6)
5	**9**	**2**	**46**

II. Obertonreihen.

Aa (1 : 2)	Aae^1 (1 : 2 : 3)	Aae^1a^1 (1 : 2 : 3 : 4)	$Aae^1a^1cis^2$ (1 : 2 : 3 : 4 : 5)
55	55	38	44

$Aae^1a^1cis^2e^2$ (1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6)
17

Aus diesen Beobachtungen ergibt sich, dass in den tieferen Tonlagen unter sonst gleichen Bedingungen die Töne leichter verschmelzen als in den mittleren (man vergleiche unter I 4 : 6 und 3 : 6 mit 2 : 3 und 1 : 2), und dass im übrigen der Grad der Verschmelzung, außer von der Tondistanz, von der Zugehörigkeit zur Obertonreihe des tiefsten der gleichzeitig einwirkenden Töne abhängt: ein Ton, der zur Obertonreihe eines andern gehört, verschmilzt mit diesem sehr viel leichter als irgend ein anderer.

Tondistanz und Zugehörigkeit zur Obertonreihe repräsentiren demnach zwei verschiedene Bedingungen, deren Verbindung und Durchkreuzung für die Tonempfindungen charakteristisch ist. Unter diesen beiden Momenten entspricht die leichtere Verschmelzung nahe liegender Tonqualitäten einem auf allen Sinnesgebieten zu beobachtenden Princip, nach dem die Unterscheidung, welche die Verschmelzung simultaner Empfindungen aufhebt, von dem Contrast derselben bestimmt wird, der seinerseits vom Grad des Unterschiedes abhängt. Das zweite, die leichtere Verschmelzung eines Tones mit einem Ton seiner Obertonreihe, zu dem er als dominirendes Element gehört, entspricht dagegen einer eigenartigen

gegengesetzten Ergebnissen gelangt: die aus mehr Tönen zusammengesetzten Klangmassen wurden stets leichter analysirt, auch wenn sie eine Obertonreihe bildeten (Zeitschrift für Psychologie, Bd. 27, 1901, S. 174 ff.). STUMPF vermuthet daher, in den Versuchen SCHULZES seien bei den complicirteren Zusammenklängen die einzelnen Töne wegen des successiven Anschlages zu schwach gewesen. Dies ist natürlich ausgeschlossen, da bei diesen Versuchen auf die gleiche Klangstärke besonders Bedacht genommen war und die Zuleitung zu dem Beobachter nicht eher geöffnet wurde, als sich der Experimentator davon überzeugt hatte. Dagegen war ein anderer Unterschied in den Versuchsbedingungen vorhanden, der wohl eher an dieser Differenz der Ergebnisse die Schuld tragen könnte: STUMPF experimentirte nicht mit den ausklingenden Tönen von Stimmgabeln, sondern mit den Klängen einer Flaschenorgel, die jedenfalls viel intensiver, und dies wahrscheinlich besonders in den oberen Lagen sind, so dass die Obertöne vermuthlich durch ihre Klangstärke bevorzugt waren. Zudem scheint es mir bedenklich, dass STUMPF auch hier mehrere Personen gleichzeitig beobachten ließ. Nach meinen Erfahrungen sind Collectivbeobachtungen überall, wo die Aufmerksamkeitsvorgänge ins Spiel kommen, unbedingt zu verwerfen. Schon durch das Bewusstsein der Anwesenheit anderer Beobachter werden manchmal die besten Versuchspersonen am meisten gestört. Treten vollends in den Versuchspausen Mittheilungen über das Gehörte hinzu, so gewinnen Reflexionen und Suggestionen einen unberechenbaren Einfluss.

Anwendung des Princips der associativen Uebung auf das Tongebiet. Denn wir werden kaum umhin können, diese Erscheinung mit dem Einfluss in Zusammenhang zu bringen, den hier die gesetzmäßigen und darum auch in der Empfindung fortwährend sich wiederholenden natürlichen Tonverbindungen des Einzelklanges ausüben, ein Einfluss, der dem künstlichen und ungleich wechselnderen musikalischer Zusammenklänge selbst für das musikalisch geübte Ohr weit überlegen ist. Daraus erhellt zunächst, dass die Tonverschmelzung in beiden Beziehungen ein psychischer Vorgang ist, der nach seinem ganzen Charakter in die Reihe der elementaren Associationsprocesse gehört, bei denen er uns daher später noch beschäftigen wird. Daneben zeigt er aber, insofern die Töne der Obertonreihe bei ihm eine Rolle spielen, Beziehungen zur Consonanz und Dissonanz der Zusammenklänge. Doch sind diese Beziehungen, auf die in Cap. XII näher einzugehen sein wird, allerdings, wie schon aus den obigen Abhängigkeitsverhältnissen erhellt, durchaus nur secundäre und indirecte.

Den Begriff der »Verschmelzung« als Ausdruck für solche Verbindungen psychischer Elemente, die sich durch eine besondere Festigkeit sowie dadurch auszeichnen, dass die entstehenden Producte neue Eigenschaften darbieten, die den Elementen als solchen einzeln genommen nicht zukommen, hat die neuere Psychologie der HERBART'schen entnommen; aber sie hat dabei hier, wie in andern Fällen, den Begriff von dem hypothetischen und metaphysischen Beiwerk, das ihm bei HERBART anhaftete, zu befreien und ihn auf eine rein empirische Basis zu stellen gesucht. Da es nun hauptsächlich die »Tonverschmelzung« war, von der diese Versuche ausgingen, so muss vorläufig schon hier auf die allgemeinere Bedeutung des Verschmelzungsbegriffs kurz hingewiesen werden, obgleich die nähere Erörterung desselben und seiner Stellung zur Gesammtheit der Associationsprocesse selbstverständlich erst folgen kann, nachdem wir auch die übrigen Fälle seiner Anwendung, darunter namentlich die Erscheinungen der »extensiven Verschmelzung« näher kennen gelernt haben. Ob der Ausdruck »Verschmelzung« überhaupt ein glücklicher sei, kann man vielleicht bezweifeln. Aber nachdem er einmal da ist, und da uns ein besserer für die fragliche Form associativer Processe nicht zu Gebote steht, so sollte er wenigstens in dem Sinne festgehalten werden, dass man ihn, seinem Ursprunge gemäß, auf bestimmte psychische Verbindungen einschränkt, also auf solche, in denen die in der Verbindung enthaltenen Elemente wirklich als psychische, das heißt als Empfindungen oder als Gefühlselemente, unmittelbar aufzufinden sind; nicht aber sollte man den Begriff auf alle möglichen physiologischen Mischungsphänomene, bei denen ein solcher Nachweis von vornherein ausgeschlossen ist, ausdehnen. Das letztere geschieht z. B., wenn EJNAR BUCH die Verschmelzung als eine »Verbindung von Reizen« definirt, »aus der nur eine einzige Vorstellung entstehe, die verändert werde, sobald man eine der Reizcomponenten verändere oder hinwegnehme«[1]. Diese

[1] EJNAR BUCH, Philos. Stud. Bd. 15, 1899, S. 12.

Definition trifft natürlich ebenso gut für die Farbenmischungen, für die einander compensirenden Geruchs- und Geschmacksempfindungen und schließlich für die oben geschilderten Erscheinungen der Tonabsorption zu, wie für die »Tonverschmelzungen«. In der That hat man in diesem Sinne z. B. auch die Verbindung zweier Complementärfarben zu Weiß ebenfalls als eine »Verschmelzung« aufgefasst, die der Tonverschmelzung analog sei. Gleichwohl ist, wie mir scheint, hier gerade der Punkt übersehen worden, der dem Vorgang der Verschmelzung erst seinen eigenartigen Charakter gibt: das ist eben die Thatsache, dass die verschmolzenen Töne in dem entstandenen Product noch als Empfindungen enthalten sind, während sicherlich Purpur und Grün in dem Weiß, das aus ihnen entsteht, nicht mehr unterschieden werden können. Der Fehler besteht also darin, dass hier der Verbindung der Empfindungen die der Reize substituirt wird. Dies würde selbst dann ein Fehler sein, wenn man etwa einer Theorie der »Verschmelzungen« die Aufgabe stellen sollte, das psychische Product aus seinen physiologischen Bedingungen, also eben aus den Verhältnissen der Reizungsvorgänge, zu erklären. Denn auch dann würde man unabweislich zu dem Ergebnisse gelangen, dass bei den Farbenmischungen offenbar schon im peripheren Sinnesorgan eine Resultante zu stande kommt, die für die centraleren Gebiete der Sinnesleitung die Componenten überhaupt nicht mehr bestehen lässt, während die Componenten einer »Tonverschmelzung« noch im Hörcentrum gesondert existiren müssen. Da aber in diesem Fall der Verbindungsprocess jedenfalls zugleich ein psychischer ist, so steht hier der psychologische Charakter der Verbindung um so mehr im Vordergrund unseres Interesses, weil wir nicht nur von einem physiologischen Correlatvorgang einer solchen centralen Verbindung überhaupt nichts wissen, sondern auch die Möglichkeit zugeben müssen, dass er nicht existirt, da es sehr wohl denkbar ist, die Coexistenz mehrerer Tonerregungen im Hörcentrum genüge an und für sich schon zu ihrer Verschmelzung.

Von einem andern Gesichtspunkte aus hat Stumpf die »Tonverschmelzungen« behandelt. Er glaubt vor allem den Verschmelzungsbegriff logisch definiren und dann auf Grund einer solchen Definition auch den Tonverschmelzungen ihre Stelle anweisen zu müssen. Als das entscheidende logische Merkmal betrachtet er nun die Verbindung zu einem Ganzen. Wo in unserem Bewusstsein Merkmale oder Theile ein Ganzes bilden, da ist ihm daher dies ein Fall von Verschmelzung. So gilt ihm denn als die innigste Form derselben die Verbindung der Intensität und Qualität einer Empfindung, und dem stellt er als die loseste eine solche Erscheinung wie die Complication einer Gesichts- mit einer Tast- oder Gehörsvorstellung gegenüber. Demnach umfasst bei ihm die Verschmelzung alles was in unserem Bewusstsein überhaupt zusammen vorkommt. Sie erstreckt sich von logischen Merkmalen, die überhaupt nur in unserer Abstraction von einander gesondert werden, wie Intensität und Qualität, bis zu selbständigen Erfahrungsinhalten, die sich nur gelegentlich und zufällig einmal zusammenfinden, ohne sich zu beeinflussen, wie ein Gesichtsobject und ein gleichzeitig gehörter Klang[1]. Aus diesem rein logisch bestimmten Verschmelzungsbegriff ergibt sich nun als einziger Ertrag für die »Tonverschmelzung«, dass es verschiedene »Grade der Verschmelzung« gibt, je nachdem die einzelnen Töne mehr oder weniger ein »Ganzes« bilden. Um

[1] Stumpf, Tonpsychologie, Bd. 2, S. 1 ff.

diese Grade der Verschmelzung bei den verschiedenen musikalischen Intervallen zu ermitteln, hat STUMPF vor allem an Unmusikalischen Versuche ausgeführt, indem er von der Ansicht ausging, der natürliche Verschmelzungsgrad werde sich am reinsten bei Personen herausstellen, die weder in der Klanganalyse noch in der Vergleichung der Intervalle geübt seien. Er hat dann aber auch an sich selbst, also unter den günstigsten Bedingungen musikalischer Uebung, Beobachtungen gemacht. Dabei kam er hier wie dort, abgesehen von den natürlich sehr großen Schwankungen, welche die Urtheile der Unmusikalischen boten, zu einem im ganzen übereinstimmenden Ergebniss: die consonanten Intervalle hatten den größten Verschmelzungsgrad, und sie bildeten eine dem Grad der Consonanz entsprechende Reihe: Octave, Quinte, Quarte, dann, einander ziemlich gleichstehend, Terzen und Sexten. Auf Grund dieser Resultate kam daher STUMPF zu der Ueberzeugung, dass die Consonanz ein Product der Verschmelzung, die Dissonanz eine Wirkung mangelhafter Verschmelzung sei[1]. Nun war aber bei jenen Versuchen das Kriterium für den Grad der Verschmelzung der Eindruck der Klangeinheit. Dass dieser auch für das unmusikalische Ohr bei den consonanten Intervallen größer sein und mit dem Grad der Consonanz zunehmen muss, ergibt sich schon aus dem was oben (S. 100) über die begleitenden Differenztöne bemerkt wurde. Danach bildet die Octave einen Hauptwendepunkt in Bezug auf diese Töne, insofern sie bei ihr ganz verschwinden; nach ihr kommt die Quinte, u. s. f. Die Unmusikalischen mussten also die consonanten Intervalle deshalb als die einfacheren auffassen, weil sie wirklich die einfacheren sind, was schon für die Zusammenklänge einfacher Töne, und dann natürlich in noch höherem Grade für obertonreiche Klänge zutrifft, die meist zu den Versuchen benutzt wurden. Der Verschmelzungsgrad selbst blieb also dabei ganz außer Frage. Das nämliche gilt natürlich auch für die musikalisch geübten Beobachter; nur dass sie ohnehin weit mehr als die Unmusikalischen geneigt sind, die consonanten Intervalle zu bevorzugen. Die Versuche STUMPFS waren also lediglich Versuche über den Grad der Consonanz, und wenn er zu finden glaubte, dass der Grad der Verschmelzung ein Maß der Consonanz sei, so hatte er vielmehr umgekehrt die Consonanz zum Maß der Verschmelzung genommen, woraus sich dann freilich auch die Unhaltbarkeit seiner auf diesem vitiösen Cirkel beruhenden Consonanztheorie ergibt. (Vgl. Cap. XII.) Nicht minder erklärt sich daraus der Widerspruch, in dem seine Resultate zu den oben mitgetheilten Ergebnissen stehen. Uebrigens hält STUMPF eine psychologische Interpretation der Verschmelzung und demnach auch der Consonanz für unmöglich, weil er findet, dass ebensowohl die HERBART'sche Vorstellungsmechanik wie das alte Inventar der Associationspsychologie, Association nach Aehnlichkeit, Gewohnheit, Contrast u. dergl., dazu nicht hinreichen. Er kommt daher schließlich auf die Forderung einer physiologischen Theorie hinaus, d. h. auf die Annahme irgend eines unbekannten Verschmelzungsapparates im Hörcentrum, womit dann freilich das Problem nicht gelöst, sondern für unlösbar erklärt ist[2].

---

[1] STUMPF, a. a. O. S. 176. Zeitschrift für Psychologie. Bd. 15, S. 121. Beiträge zur Akustik und Musikwissenschaft. Heft 1, 1898, S. 34 ff. Versuche an Unmusikalischen, im wesentlichen mit dem gleichen Ergebniss, sind dann auch noch von FAIST ausgeführt worden, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 15, S. 113.

[2] STUMPF, Tonpsychologie, Bd. 2, S. 211. Beiträge, S. 50 ff.

Deutlich erhellt übrigens die in Stumpfs Versuchen obwaltende Verwechslung der Verschmelzung mit der Consonanz auch aus den von ihm formulirten »Verschmelzungsgesetzen«. Diese Gesetze treffen nämlich für die Consonanz im allgemeinen zu, während für die wirkliche Verschmelzung vielfach ihr Gegentheil gültig ist[1]. So soll der Verschmelzungsgrad 1) unabhängig sein von der Tonregion, — nichts ist aber gewisser, als dass die tiefen Töne bei gleichem Intervall sehr viel leichter verschmelzen als die mittleren der musikalischen Scala. 2) Er soll unabhängig von der absoluten oder relativen Stärke der Töne sein, — auch das ist für die Consonanz natürlich wahr, für die Verschmelzung ist aber wieder das Gegentheil richtig: die modificirenden Elemente verschmelzen, je schwächer sie absolut und relativ sind, um so leichter mit dem dominirenden Ton, wie dies die Analyse des einfachsten Falls der Verschmelzung, der der Obertöne im Einzelklang, lehrt. 3) Die Hinzufügung weiterer Töne soll den Verschmelzungsgrad in keiner Weise beeinflussen: auch das gilt für die Consonanz, nicht für die Verschmelzung, wie die obigen Versuche mit der Obertonreihe zeigen. 4) Die Verschmelzungsgrade sollen nicht stetig mit Aenderung der Tondistanz, sondern plötzlich mit der Annäherung an neue consonante Intervalle wechseln, — auch das ist wieder für Consonanzen richtig, aber nur in bedingter Weise für die Verschmelzungsgrade. Das Einzige, was in den aufgestellten Sätzen zutreffend ist, bleibt dies, dass sehr kleine Aenderungen in dem Verhältniss der Schwingungszahlen auch kleine Aenderungen im Grad der Verschmelzung hervorbringen, weil eben dieser Satz sowohl für Verschmelzungen wie für Consonanzen, nur freilich für die ersteren in viel weiterem Umfange gilt, daher diese Einschränkung zeigt, dass das, worauf der Satz bezogen wird, wiederum bloß die Consonanz ist.

Mit Recht hat gegenüber den auf unhaltbare oder unauffindbare physiologische Momente zurückgehenden »Verschmelzungstheorien« Th. Lipps seine Auffassung zunächst auf die psychologische Natur des Phänomens zu gründen gesucht, und ist dabei zunächst nicht von dem an sich verwickelteren Zusammenklang, sondern von dem Einzelklang mit seinen Obertönen ausgegangen. Aber indem er die Obertöne als »unbewusste« oder wenigstens zeitweise unbewusst werdende Empfindungselemente betrachtet, hat er, wie ich glaube, etwas in das Phänomen hineingelegt, was ihm nicht zukommt, und was die thatsächliche Beschaffenheit desselben unerklärlich machen würde[2]. In der That verschwindet in dem Augenblick, wo sie unbewusst werden, auch ihr Einfluss auf die Klangfarbe, wogegen diese durch die Richtung der Aufmerksamkeit auf einzelne Theiltöne absolut nicht verändert wird. Abgesehen davon aber, dass die für jenen Einfluss hauptsächlich bestimmenden Obertöne bei zureichender Uebung unmittelbar unterschieden werden können, also jedenfalls nicht unbewusst sind, haben wir auch in den Fällen, wo sie sich erst einer durch besondere Hülfsmittel unterstützten Klanganalyse verrathen, allen Grund, anzunehmen, dass sie zwar durch die Verschmelzung mit andern Tonelementen verdunkelt werden, jedoch nie, so lange sie überhaupt

[1] Stumpf, Tonpsychologie, Bd. 2, S. 136.

[2] Lipps, Grundthatsachen des Seelenlebens. 1883. S. 472 ff. Psychologische Untersuchungen. 1885, S. 92 ff. Tonverwandtschaft und Tonverschmelzung. Zeitschrift für Psychologie, Bd. 19, S. 1 ff.

die Klangfarbe modificiren, aus dem Bewusstsein verschwinden. Wollte man das Gegentheil voraussetzen, so würde das nicht bloß mit den Wirkungen der noch deutlich unterscheidbaren Obertöne, sondern es würde auch mit allen den Thatsachen in Widerspruch treten, die uns später (in Abschn. V) bei der allgemeinen Analyse der Bewusstseinsinhalte begegnen werden. Denn diese Analyse zeigt überall eine mannigfaltige Abstufung der Klarheitsgrade der Bewusstseinselemente, und sie lässt dabei zugleich auf eine unmittelbare Abhängigkeit der Wirksamkeit derselben von diesem ihrem Bewusstseinsgrad zurückschließen. Dagegen bringt auch LIPPS die bei STUMPF völlig vernachlässigte Bedeutung des dominirenden Elementes bei den Tonverschmelzungen zur gebührenden Geltung. In Wahrheit kann diese Bedeutung nur dann übersehen werden, wenn man länger dauernde Klänge und namentlich Zusammenklänge einwirken lässt, wo nun beim Unmusikalischen überhaupt nur der Eindruck einer unbestimmten Klangeinheit existirt, bei dem Musikalischen aber ein das Streben nach Klanganalyse begleitendes Wandern der Aufmerksamkeit zwischen den Theiltönen sich einstellt. Das einzige Mittel, solche Nebeneinflüsse auszuschalten und den Zustand der Aufmerksamkeit für die Dauer der Beobachtung zu fixiren, besteht darum auch hier in der Anwendung kurz dauernder Eindrücke, die während ihrer Dauer einigermaßen einen constanten Bewusstseinszustand verbürgen[1]. Ueberdies müssen die Versuche an Personen angestellt werden, die speciell in psychologisch-akustischen Versuchen geübt sind. Lässt man solche Personen das, was sie bei völliger Verschmelzung zweier oder mehrerer Töne gehört haben, nachsingen oder in einer bestimmten Notenbezeichnung angeben, so ist es nun, sobald man nur das Gebiet der oben besprochenen Tonabsorption überschritten hat, niemals etwa ein zwischenliegender Ton, den sie als den gehörten bezeichnen, sondern stets einer der wirklichen Töne, und zwar derjenige, dem auch nach den sonstigen Bedingungen die Rolle des dominirenden Tones zukommt, also z. B., wenn die Töne aus einem Grundton mit Gliedern einer Obertonreihe bestehen, der Grundton.

e. Die Geräuschempfindungen.

Die Natur der Geräuschempfindungen bildet noch immer ein dunkles Problem der Empfindungslehre, über das die Meinungen weit auseinandergehen. Zum Theil erklärt sich das aus der verwickelten und überaus mannigfaltigen Natur der Geräusche, die eine ähnliche Einordnung in ein einfaches Continuum, wie sie für die Tonempfindungen und demnach auch für die unmittelbar in sie aufzulösenden zusammengesetzten Klangvorstellungen möglich ist, von vornherein ausschließen. Zum Theil erklärt es sich aber auch daraus, dass die Frage nach der Natur der Geräuschempfindungen selbst in der Regel sofort mit der andern nach ihrer physiologischen Entstehungsweise vermengt wurde. Nachdem man

---

[1] Ueber die Bedeutung dieser Methode für die Bewusstseinsanalyse überhaupt vgl. Abschn. V.

zu bestimmten Voraussetzungen über die Vorgänge der Tonerregung im Ohre gelangt war, fragte man sich: sind die nämlichen Einrichtungen, die der Aufnahme der Töne und der Zerlegung der Klänge dienen, muthmaßlich auch Apparate der Geräuschempfindung, oder sind specifische Einrichtungen für diese vorauszusetzen? Die so gestellte Alternative floss dann ohne weiteres mit der anderen zusammen: sind die Geräusche überhaupt eigenartige Empfindungen, oder sind sie in ähnlicher Weise wie die Klänge, nur vielleicht in viel complicirterer Weise, aus einfachen Tonempfindungen zusammengesetzt? Nun ist klar, dass diese beiden Fragen keineswegs miteinander identisch sind. Denn es ist an sich nicht undenkbar, dass die Geräusche ganz oder theilweise specifische Empfindungen sind, und dass sie trotzdem in den gleichen Endapparaten und Nerven zu stande kommen. Diese Annahme wird erst dann unmöglich, wenn man es als ein unantastbares Dogma ansieht, dass für jede specifische Empfindung auch ein specifischer Sinnesapparat und eine specifische Nervenfaser existiren müsse. Ebenso wenig ist aber der Gesichtspunkt entscheidend, dass die mathematische Analyse der Schallbewegungen schließlich jede beliebige Geräuschform in eine Anzahl sich unregelmäßig durchkreuzender oder von Moment zu Moment wechselnder Sinuswellen zerlegen kann. Denn die Thatsache, dass bei verhältnissmäßig einfachen und regelmäßigen Klangbewegungen unser Ohr eine analoge Klanganalyse in der Empfindung vornimmt, beweist nicht, dass diese Analogie über die Grenzen hinaus, innerhalb deren sie nachweisbar ist, gültig bleiben müsse. Offenbar ist demnach hier der gewöhnlich in der Physiologie beschrittene Weg umzukehren. Wir haben nicht zuerst zu fragen: gibt es besondere Geräuschapparate, um dann je nach der Antwort zu entscheiden, was die Geräusche als subjective Empfindungen sind; sondern wir haben zuerst zu fragen: was sind die Geräusche ihrer rein subjectiven Beschaffenheit nach? Ob für diese Empfindungen besondere Endorgane im Ohr existiren oder nicht, das bleibt dann eine spätere Sorge.

Stellt man die Frage so, und sucht man sich demnach vollkommen unbefangen über das Rechenschaft zu geben, was in den Empfindungen verschiedener Geräusche enthalten ist, so kann nun die Antwort kaum zweifelhaft sein. Weitaus in den meisten Fällen erscheint das Geräusch als ein zusammengesetztes Gebilde, und in der Regel ist ein Ton, oder sind mehrere, manchmal rasch wechselnde Töne in demselben zu unterscheiden. Aber daneben bleibt doch ein unanalysirbarer, bei den verschiedenen Geräuschen und manchmal bei einem und demselben Geräusch in dessen auf einander folgenden Phasen wechselnder Bestandtheil, der nicht in einzelne Töne zerlegbar ist, dem wir aber meist eine gewisse

allgemeine Tonlage anweisen. Er erscheint uns ebenfalls in einem gegebenen Zeitmoment einfach, unterscheidet sich aber von dem einfachen Ton durch eine unbestimmtere Tonlage, und häufig auch darin, dass er von Moment zu Moment wechselt. Eine solche Geräuschempfindung, zugleich in Verbindung mit begleitenden Tönen, lässt sich in sehr vollkommener Weise bei dem Phänomen der Schwebungen erzeugen, wenn man zwei Töne in einer mittleren musikalischen Lage, etwa zwischen c^1 und c^2, um 20 bis 30 Schwingungen gegen einander verstimmt: man hört dann die zwei Töne neben einander, nur wird in größeren Pausen der eine vom andern ausgelöscht oder bei abwechselndem Hinhören aus dem Blickpunkt der Aufmerksamkeit verdrängt; aber neben den Tönen hört man das nicht in Töne zerlegbare, eine unbestimmtere Tonhöhe einhaltende Schwebungsgeräusch. Aehnlich verhalten sich, nur in der Regel mit weniger deutlicher Ausprägung der begleitenden reinen Tonempfindung, die meisten andern dauernden Geräusche. Sie sind thatsächlich Mischungen aus Ton und Geräusch. In diesen Mischungen kann der specifische Geräuschbestandtheil in der Zeit wechseln, in einem gegebenen Moment aber erscheint er im Gegensatz zu den mit ihm verbundenen Tonerregungen als eine einfache, nicht analysirbare Empfindung, die jedoch, auch wenn sie ohne bestimmte begleitende Tonempfindungen vorkommt, in der Regel noch darin eine Beziehung zu den Tönen erkennen lässt, dass sie in jedem Moment jene oben erwähnte allgemeine Tonlage besitzt. Aus der innigen Verbindung, welche diese specifischen Geräusch- mit Tonempfindungen eingehen, erklärt es sich wohl, dass die sprachlichen Bezeichnungen der Geräusche ähnlich unvollständig sind wie die der Klänge. Aber während bei diesen die musikalische Notenbenennung einen elementaren Hauptbestandtheil, den Grundton, herausgreift, sind die Namen der Geräusche onomatopoetische Wortbildungen, auf die ebensowohl die Ton- wie die eigentlichen Geräuschelemente Einfluss gewonnen haben: so in Ausdrücken wie zischen, rollen, knurren, sausen, plätschern, gurgeln, klatschen u. s. w.

An die Einordnung der Geräuschqualitäten in ein bestimmtes Empfindungssystem, welches den Tonempfindungen gegenübergestellt werden könnte, lässt sich demnach nicht denken. Da wir auch den der eigentlichen Tonelemente entbehrenden Geräuschen gewisse Tonlagen anweisen, so scheint ein solches System immer wieder auf die Tonempfindungen zurückzuführen. Gerade in jenen Mischungen aus Ton und Geräusch, als die uns die meisten wirklichen Geräusche entgegentreten, lassen sich nun aber auch die Geräusche als Empfindungen oder als Verbindungen von Empfindungen auffassen, die in ihrer subjectiven Beschaffenheit durchaus dem objectiven Zusammenwirken der zugehörigen

Reize entsprechen. Eine beliebig unregelmäßige Schwingungsbewegung, wie sie oben die Fig. 164 (S. 64) als Substrat eines Geräusches veranschaulicht, lässt sich in der Regel noch in Bestandtheile von Sinuscurven zerlegen, die einen hinreichend langen Verlauf zeigen, um als Tonerregungen wirken zu können. Daneben enthält sie aber stets noch andere Bewegungsbestandtheile, die nur als irreguläre Impulse wirken können, weil sie, in Sinuscurven aufgelöst, fortwährend wechselnde und intermittirende pendelartige Bewegungen ergeben würden. Diese irregulären Impulse werden wir demnach als die physikalischen Substrate der eigentlichen Geräuschempfindung betrachten dürfen. Da nun aber auch diese letzteren bei den meisten Geräuschen in jedem Moment eine gewisse Tonlage erkennen lassen, so spricht dies offenbar für ein gemeinsames Substrat der Ton- und Geräuschempfindungen. Wie dem Ton eine distincte, so scheint dem Geräusch eine diffuse Erregung zu Grunde zu liegen, die als solche an die Stelle der bestimmten Tonhöhe nur eine unbestimmte Tonlage treten lässt. Indem nun aber diese letztere in gewissen Grenzfällen so unbestimmt sein kann, dass selbst die allgemeinsten Bezeichnungen hoch und tief für sie unanwendbar werden, bleibt für solche des Toncharakters völlig entbehrende Geräusche natürlich eine doppelte Deutung möglich: sie können entweder auf einer besonderen, von der der Töne verschiedenen Erregungsform beruhen; oder jene diffuse Form der Erregung, die den Geräuschen überhaupt eigen ist, kann schließlich einen Grad der Ausbreitung erreichen, bei dem die Beziehung auf irgend eine Tonlage überhaupt unmöglich wird. Welche dieser Annahmen die wahrscheinlichere sei, darüber wird schließlich die allgemeine Theorie der Gehörsempfindungen zu entscheiden haben.

Indem die Physiologie die Untersuchung der subjectiven Eigenschaften der Geräuschempfindungen über der Frage nach dem Ort ihrer Entstehung und nach den Beziehungen der Geräuscherregung zur Tonerregung fast völlig vernachlässigte, ist die Entwicklung der Lehre von den Geräuschen im Grunde lediglich ein Spiegelbild der wechselnden Anschauungen, die hinsichtlich der schallpercipirenden Apparate im Gehörorgan und der Bedeutung der einzelnen Theile des Labyrinths herrschend waren. So stellte HELMHOLTZ in der ersten Auflage seiner Lehre von den Tonempfindungen dem CORTI'schen Organ der Schnecke die Apparate der Ampullen und der Bogengänge als die muthmaßlichen Geräuschapparate gegenüber. Dieselbe Auffassung wurde dann namentlich noch von PREYER im Hinblick auf die wahrscheinliche Entwicklung der Schallempfindungen im Thierreich vertreten[1]. Als später die Zurechnung des Bogenlabyrinths zum Gehörorgan zweifelhaft wurde, wendete sich jedoch HELMHOLTZ mit den meisten Physiologen der Meinung zu, das Geräusch sei

[1] PREYER, Akustische Untersuchungen. 1879, S. 38.

physiologisch wie physikalisch als eine Summe einander störender Tonerregungen aufzufassen. Vom Standpunkt einer strengen Durchführung des Princips der specifischen Energien behaupteten dann besonders EXNER und BRÜCKE die Einerleiheit nicht nur von Tonapparaten und Geräuschapparaten, sondern auch von Tonempfindungen und Geräuschempfindungen[1]. So wurde im ganzen die Ansicht die herrschende, dass eine Geräuschempfindung nichts anderes als eine Summe »sich störender Tonempfindungen« sei. Hierbei hat man nun aber offenbar den unbestimmten teleologischen Begriff der »Störung« an die Stelle dessen gesetzt, was die wirkliche Beobachtung als den nach Abzug der Tonelemente bleibenden Rest ergibt, einen teleologischen Begriff, der nicht sowohl der Analyse der Geräuschempfindungen selbst, als der mathematisch-physikalischen Analyse der Schallwellen entnommen ist. BRÜCKE vollends führte geradezu den embarras de richesse ins Feld, dem man sich preisgegeben sehe, wenn man auch für die Geräusche specifische Apparate annehmen wollte. Für die Töne, meinte er, sei ja die Zahl specifischer Fasern noch einigermaßen absehbar. Wenn aber von den unendlich vielen möglichen Geräuschen jedes seinen eigenen specifischen Nerven haben sollte, so würde das ein unvollziehbarer Gedanke. Er hatte dabei offenbar außer Acht gelassen, dass dieselbe Verlegenheit im Grunde schon den Geruchsempfindungen gegenüber existiren würde. Alle diese Erwägungen behandeln das Problem so, als wenn sich die Erscheinungen nach den Hypothesen, nicht umgekehrt unsere Hypothesen nach den Erscheinungen zu richten hätten. Darum wird man A. DENNERT recht geben können, wenn er bemerkt, specifische Geräuschapparate seien vom physikalischen Standpunkte aus deshalb nicht erforderlich, weil sehr wohl ein einzelner Impuls oder auch ein unregelmäßiger Anstoß irgend welche auf Töne abgestimmte Apparate erregen könne[2]. Ebenso schließt aber natürlich die Erregbarkeit irgend einer Nervenfaser durch einen Ton von bestimmter Höhe nicht aus, dass dieselbe Faser, wenn sie von einem unregelmäßigen Impuls getroffen wird, anders reagirt, als wenn regelmäßige Tonschwingungen auf sie wirken.

f. Theorie der Gehörsempfindungen.

Die früher, bei Erörterung der Structur des Gehörorgans und ihrer Bedeutung für die Function, ihrem allgemeinsten Inhalt nach dargelegte Resonanzhypothese ist der erste erwähnenswerthe Versuch, über die Phänomene des Hörens auf Grund der akustischen Einrichtungen des Gehörorgans Rechenschaft zu geben[3]. Das bei dieser Hypothese ursprünglich maßgebende Motiv war ausschließlich die Thatsache der sogenannten Klanganalyse; und diese ist auch heute noch ihre wichtigste Grundlage, weil keine der sonst versuchten Deutungen im stande ist, in gleich einfacher Weise im Anschluss an allgemeingültige akustische Gesetze jene

---

[1] EXNER, PFLÜGERS Archiv, Bd. 13, 1876, S. 228. BRÜCKE, Wiener Sitzungsber., 3, Bd. 90, 1886, S. 199.

[2] DENNERT, Archiv für Ohrenheilkunde, Bd. 41, 1896, S. 109 ff.

[3] Vgl. Bd. 1, S. 416 ff.

Thatsache begreiflich zu machen. Aber, so wichtig diese Uebereinstimmung sein mag, die Klanganalyse ist doch nicht das einzige Phänomen, das eine physiologische Theorie der Gehörsempfindungen erklären soll. Es erhebt sich daher am Schlusse dieser Uebersicht über die Ton-, Klang- und Geräuschempfindungen und ihre Beziehungen zu einander die Frage, ob und in welcher Weise die Resonanzhypothese auch von den übrigen Erscheinungen dieses Sinnesgebietes Rechenschaft zu geben vermag, oder ob, weil sie das nicht thut, mit ihr irgend welche Veränderungen vorgenommen werden müssen, wenn man nicht etwa gar genöthigt sein sollte, sich nach einer ganz andern Grundlage umzusehen. Es sind aber, abgesehen von jenem zunächst ausschließlich für die Hypothese bestimmend gewesenen Phänomen der Klangzerlegung im Ohr, wesentlich zwei Erscheinungen, an denen sich die allgemeinere Brauchbarkeit derselben bewähren muss: die Schwebungen der Töne, und die Combinations-, namentlich die Differenztöne. Alles übrige ist diesen beiden Hauptpunkten gegenüber von untergeordneter Bedeutung oder wird sich im Zusammenhang mit diesen Hauptfragen voraussichtlich von selbst erledigen.

Nun sind die Schwebungen, insoweit sie ihrem allgemeinen Charakter nach in Intermissionen der Empfindung bestehen, physikalisch in den entsprechenden Interferenzwirkungen der Tonwellen begründet, und sie fügen sich daher ohne weiteres in die Resonanzhypothese ebenso ein, wie sie sich wohl in jede andere Vorstellungsweise einfügen würden: die intermittirenden Impulse müssen auch intermittirende Empfindungen hervorbringen, bis zu der Grenze, bei der vermöge der allgemeinen Eigenschaften der nervösen Processe und der Bewusstseinsvorgänge schließlich überall eine Reihe discontinuirlicher Eindrücke in eine continuirliche Empfindung übergeht. Aber das Phänomen der Schwebungen bietet in seinen oben (S. 94) unterschiedenen Stadien noch einige Besonderheiten, die sich aus diesen physikalischen Bedingungen nicht ohne weiteres ableiten lassen, und deren Uebereinstimmung oder Nichtübereinstimmung mit der Resonanzhypothese daher vor allem der Prüfung bedarf. Bei dieser Prüfung wird nun als eine im Grunde stillschweigend schon in jener Hypothese enthaltene Voraussetzung die anzusehen sein, dass selbst eine einfache Sinuswelle niemals bloß auf eine einzige lineare Querfaser der Grundmembran erregend einwirkt, sondern dass sie ein gewisses, zwar beschränktes, jedoch immerhin eine merkliche Ausdehnung besitzendes Gebiet in Anspruch nimmt. Denken wir uns, in Fig. 178 bezeichne die Horizontale *a b* einen Ausschnitt aus der Grundmembran ihrer Längenrichtung nach, so wird also ein Ton, auf den die Faser *c* abgestimmt ist, nicht diese Faser allein in Schwingungen versetzen können, sondern es

wird stets ein ganzer Membranabschnitt *a b* mitschwingen, der beiderseits *c* umgibt. Physikalisch ist diese Ausbreitung der Schwingungen zunächst dadurch verursacht, dass irgend ein schwingender Körper, z. B. eine Saite, einen andern, der auf einen wenig verschiedenen Ton abgestimmt ist, in einem mit der Tondifferenz rasch abnehmenden Grade zu Mitschwingungen erregt. Diese Ausbreitung der Sinuswelle würde also selbst dann eintreten, wenn die Grundmembran aus einzelnen, ganz von einander getrennten Saiten bestünde. Da das aber nicht der Fall ist, sondern da sie zwar nach den Untersuchungen von HENSEN in der Quere stärker als in der Länge gespannt ist, aber immerhin auch hier continuirlich zusammenhängt, so wird man annehmen dürfen, dass dieses physiologische Moment die Ausbreitung der Schwingungen begünstigen werde.

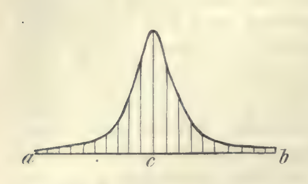


Fig. 178. Hypothetische Ausbreitung der Tonschwingungen in der Längenrichtung der Grundmembran.

Ihr wirkt nun allerdings wohl die rasche Dämpfung entgegen, welche die Schwingungen nach dem Aufhören des objectiven Tons muthmaßlich durch die aufgelagerten CORTI'schen Bogen erfahren, und auf die sich aus der relativ kurzen Nachdauer der Tonerregungen zurückschließen lässt (Bd. 1, S. 366)[1]. Hiernach wird sich der Ablauf der Schwebungserscheinungen mit wachsender Distanz der schwebenden Töne voraussichtlich in der folgenden, durch die Fig. 179 veranschaulichten Weise gestalten. Liegen die beiden Töne einander sehr nahe wie in *A*, so fließen die beiden Schwingungen vollständig in eine einzige zusammen, die auf der Basilarmembran zwar einen etwas größeren Raum einnimmt, als jeder der Einzeltöne für sich thun würde, aber merklich verschiedene Tonempfindungen so lange nicht hervorbringen kann, als die Entfernungen des Gipfelpunktes *t* der resultirenden Curve von den beiden Einzeltönen unter

[1] HELMHOLTZ hat aus dieser Nachdauer beim Trillern die Ausdehnung der Erregung ihrer relativen Stärke nach innerhalb des Intervalls eines Ganztones berechnet, indem er von der Voraussetzung ausging, dass mit der Schnelligkeit der Dämpfung auch die Stärke des Mitschwingens der benachbarten Theile abnehme. Unter der Annahme, dass beim Trillern ein Wechsel der Töne bei der Geschwindigkeit von $^1/_{10}$ Sec. noch hörbar sei, ergibt sich so z. B. die Intensität des Mitschwingens bei der Tondistanz von 0,1 eines Ganztons auf 74, bei dem Halbton auf 10, bei dem Ganzton auf 2,7 Proc. (Lehre von den Tonempfindungen[4], S. 237). Hiernach hat HELMHOLTZ die Ordinaten der oben nach ihm reproducirten Fig. 178 bestimmt. Da in Wahrheit die Trillerschwelle erheblich tiefer liegt (bei etwa $^1/_{30}$ Sec.), und da bei dem Wechsel entfernterer Töne, bei musikalischen Figuren, die gleiche Schwelle gefunden wurde (s. oben S. 106), so sind die Voraussetzungen dieser Berechnung nicht mehr zu halten, und wahrscheinlich beruht das Ineinanderfließen rasch folgender Töne überhaupt nicht sowohl auf peripheren als auf centralen Bedingungen. An dem durch die Fig. 178 veranschaulichten allgemeinen Charakter der Ausbreitung der Tonerregungen auf der Grundmembran wird aber dadurch nichts wesentliches geändert.

der Unterschiedsschwelle liegt. Dabei ist überdies zu beachten, dass diese Schwelle für simultane Töne, wenn man von der Beurtheilung nach den Schwebungen absieht, erheblich größer ist als für successive. Treten die beiden Töne etwas weiter auseinander (*B*), so ändern sich die Erscheinungen in doppelter Hinsicht. Erstens folgen sich die objectiven Interferenzen so rasch, dass das An- und Abschwellen des Tons unbemerkbar wird: das Stadium der Tonstöße beginnt. Zweitens greifen die beiden Wellen zwar auf der Resonanzmembran noch stark über einander, aber ihre Gipfelpunkte sind bereits so weit entfernt, dass diese Distanzen die Unterschiedsschwelle überschreiten. Damit tritt zugleich eine bei der Distanz *A* noch verschwindende Erscheinung hervor: die Entstehung einer aus der Interferenz der Wellen auf der Basilarmembran resultirenden Schwingungsbewegung, welche da ihr Maximum hat, wo sich die beiden Wellencurven schneiden. Je näher sich t_1 und t_2 sind, um so höher ist die relative Stärke dieser resultirenden Welle t, um so mehr regt sie aber

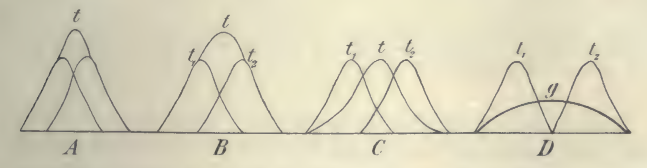


Fig. 179. Schematische Darstellung der Interferenzphänomene der Grundmembran bei wachsender Distanz zweier schwebender Töne.

auch die Membrantheile rechts und links zu Mitschwingungen in gleicher Periode an; auch jetzt entstehen daher nicht drei Töne, sondern es ist nur ein einziger zu hören, der die Schwebungen trägt, und dessen Höhe zwischen den Primärtönen in der Mitte liegt. So entsteht das Phänomen der Tonabsorption. Es ist ein physikalisch-physiologischer Vorgang, den man objectiv nachahmen kann, wenn man zwei stark schwingende Stimmgabeln oder zwei Labialpfeifen von sehr geringem Unterschied der Schwingungszahlen neben einander stellt, wo sich ebenfalls die beiden Schwingungen zu einem einzigen Ton von mittlerer Schwingungszahl compensiren können[1]. Geht man dann abermals um einen Schritt weiter in der Vergrößerung der Tondistanz (*C*), so bleibt der resultirende Zwischenton zunächst noch erhalten; zugleich weichen aber die beiden Primärtöne so weit von einander ab, dass sie selbständige Tonerregungen bewirken. Neben dem Zwischenton treten also auch die primären Töne hervor.

[1] Lord Rayleigh, Phil. Mag. 1879, p. 156.

Gleichwohl wirken auch jetzt noch die verschiedenen in den Nachbartheilen der Resonanzmembran ablaufenden Schwingungen auf einander ein, indem vorübergehend der eine Ton den andern durch Interferenzwirkungen der Wellen der Grundmembran auslöscht. Auch zu diesem Phänomen kann man ein objectives Analogon erzeugen, wenn man eine schwingende Stimmgabel auf eine andere einwirken lässt, mit der sie sich nicht mehr auf die Dauer unisono einstellen kann. Dann löscht sie abwechselnd deren Schwingungen aus und lässt sie wieder hervortreten: lässt man die gestörte Gabel ihre Curve aufzeichnen, so erhält man das in Fig. 180 in der unteren Wellenlinie dargestellte Bild. Dabei folgen die Interferenzpausen regelmäßig in bestimmten längeren, von der Schwingungsdifferenz abhängigen Perioden auf einander[1].

Fig. 180. Wellencurven einer durch Resonanz mitschwingenden Stimmgabel: die obere Curve bei gleicher Schwingungszahl mit dem erregenden Primärton von 500 Schw., die untere bei einer Schwingungsdifferenz von 10 Schw., von der Gabel selbst aufgezeichnet.

Rücken endlich die Schwingungen der Primärtöne so weit auseinander, dass zuerst nur noch kleine Theile ihrer Curven auf der Basilarmembran zusammenfallen, und diese zuletzt ganz auseinandertreten, so erhält man das letzte Stadium (*D*). Die beiden Primärtöne werden jetzt in Wahrheit continuirlich gehört, der Schein einer Discontinuität entsteht nur noch durch das Herüber- und Hinüberwandern der Aufmerksamkeit; der Zwischenton ist völlig verschwunden, weil die durch die Interferenz der Schwingungen auf der Basilarmembran entstehende resultirende Bewegung ein selbständiges Maximum nicht mehr besitzt, sondern sich als diffuse und durch die Interferenzen der beiden Wellen fortwährend intermittirende Bewegung *g* über ein weites, einem größeren Ausschnitt der Tonlinie entsprechendes Gebiet der Basilarmembran erstreckt. Diese diffuse Bewegung wird man demnach als das Substrat der Geräuschempfindung betrachten können, die sich mit den daneben zu hörenden primären Tönen verbindet. Doch wird besonders dieses letzte Stadium durch die sich beimengenden Differenztöne und ihre Schwebungen erheblich

[1] Besser als durch Stimmgabeln, die durch Streichen in Schwingung versetzt werden, wo das zu schnelle Ausklingen im Wege steht, kann man die Erscheinung mittelst elektrisch erregter Gabeln hervorbringen, wenn man direct die durch die Schwingungen der einen Gabel erzeugten Stromunterbrechungen auf die andere, auf einen etwas verschiedenen Ton abgestimmte und ebenfalls mit einer elektromagnetischen Armatur versehene einwirken lässt. Auf diesem Wege sind auch die in Fig. 180 abgebildeten Curven gewonnen worden.

complicirt. Darum ist nun aber auch der Uebergang zu demjenigen Stadium, wo die Interferenzerscheinungen des Resonanzapparates selbst völlig verschwinden, schwer zu verfolgen. Denn sobald die primären Töne zu einander dissonant sind, machen sich nun um so mehr Schwebungen und Tonstöße zwischen den Differenztönen geltend.

Das Phänomen der Schwebungen im ganzen, mit allen den Eigenthümlichkeiten, die es in seinen verschiedenen Stufen darbietet, lässt sich hiernach vollkommen befriedigend aus den Voraussetzungen der Resonanzhypothese ableiten. Nur müssen dabei die im Resonanzapparat selbst, theils durch das directe Uebereinandergreifen der Schwingungen, theils durch die wechselseitige Beeinflussung derselben entstehenden Interferenzphänomene mit berücksichtigt werden. Unterscheiden wir diese, im Gegensatze zu den objectiven, außerhalb des Gehörorgans entstehenden Schwebungen, als die subjectiven Interferenzerscheinungen, so lässt sich daher die Gesammtheit der Schwebungsphänomene als eine Reihe von Vorgängen definiren, die durch das Ineinandergreifen der objectiven und subjectiven Toninterferenzen bedingt sind, und deren Charakter in der Empfindung von dem wechselnden Verhältniss abhängt, in dem je nach der Tondistanz der interferirenden Töne diese beiden Interferenzwirkungen zu einander stehen.

Wesentlich anders verhält es sich mit der zweiten Erscheinung, über welche, abgesehen von der Thatsache der subjectiven Klangzerlegung, die Theorie der Gehörsempfindungen Rechenschaft geben muss: mit den Combinationstönen. Die objectiven Differenztöne bereiten hier natürlich keinerlei Schwierigkeit; sie liegen, als äußere Klangbestandtheile. ebenso wie das Schwebungsphänomen in seinem ersten, noch nicht durch die subjectiven Interferenzerscheinungen complicirten Stadium, sozusagen außerhalb des Streits der Hypothesen. Um so bedeutsamer sind die subjectiven Combinationstöne. Der Annahme, dass sie durch resultirende Schwingungen in den Gebilden des Mittelohres entstehen, die HELMHOLTZ theoretisch zu begründen suchte, stehen, wie schon oben bemerkt, zwei gewichtige Thatsachen entgegen: erstens die nicht selten bedeutende Stärke dieser Töne, und zweitens ihr Vorkommen in Fällen, wo Trommelfell und Gehörknöchelchen in Folge einer Erkrankung des Mittelohres entfernt worden waren. Gleichwohl wird man in dem Scheitern dieses Erklärungsversuchs einen Gegenbeweis gegen die Resonanzhypothese selbst noch nicht erblicken dürfen, sondern eben nur einen Gegenbeweis gegen diese specielle Hülfshypothese, die an sich von ihr unabhängig ist. Nachdem diejenigen Erscheinungen, die als directere Gegeninstanzen gelten konnten, die Intermittenztöne und die sogenannten Stoßtöne, mit größter

Wahrscheinlichkeit selbst als Differenztöne nachgewiesen sind, concentrirt sich vielmehr das ganze Problem auf die Frage: ist die Entstehung der subjectiven Combinationstöne, falls sie mit der Resonanzhypothese vereinbar sein soll, an die Bildung resultirender Wellen in den Gebilden des Mittelohrs oder überhaupt in Theilen, die vor der Resonanzmemban liegen, gebunden; oder ist sie das nicht, ist es vielmehr auch denkbar, dass jene Töne in Labyrinththeilen jenseits des Resonanzapparates entstehen? Diese Fragen führen unmittelbar auf die beiden Vorstellungen zurück, die früher schon bei der Erörterung der Beziehungen zwischen Structur und Function als die zwei möglichen Auffassungen über die Stellung des Resonanzapparates hervorgehoben wurden (Bd. 1, S. 418). Hat sich der Resonanzapparat nach der Natur der nervösen Elemente eingerichtet, deren specifische Energien die Tonempfindungen sind? Oder haben sich umgekehrt die Eigenschaften der nervösen Elemente den besonderen Bedingungen der peripheren Tonerregung angepasst, zu denen auch die Entwicklung des Resonanzapparates und die durch ihn vermittelte Vertheilung der Tonerregungen gehörte? Hält man an der ersten dieser Annahmen fest, so ist damit nothwendig gefordert, dass die subjectiven Differenztöne, gerade so wie die objectiven, vor dem Resonanzapparat entstehen müssen. Die Annahme der specifischen Energien war daher sichtlich auch für HELMHOLTZ der Grund für die Aufstellung seiner Mittelohrhypothese. In der That lässt sich dann, außer an die Gebilde des Mittelohrs, kaum an etwas anderes denken, sofern es nicht etwa die Labyrinthflüssigkeit sein sollte, die aber physikalisch offenbar weit ungünstigere Bedingungen für die Entstehung solcher Superpositionswellen darbietet, als starre Körper oder ausgespannte Membranen[1]. Schlägt man sich dagegen in der oben aufgestellten Alternative auf die zweite Seite, nimmt man also an, dass von den Acusticusfasern, wie das ja ohnehin die oben durch die Fig. 178 erläuterte Ausbreitung der einfachen Tonerregung über ein gewisses Fasergebiet erforderlich macht, jede innerhalb einer gewissen Breite auf bestimmte Tonhöhen reagire, weil sich dem betreffenden Abschnitt des Resonanzapparates der Verlauf der molecularen Vorgänge in ihr angepasst hat, so werden wir zwar fortan die Schwingungen dieses Apparates als die Hauptursachen der Tonerregung, wir werden sie aber keineswegs als die ausschließlichen

[1] Die Idee, dass die Labyrinthflüssigkeit der Sitz der die Combinationstöne erzeugenden Superposition der Schwingungen sei, ist in der That übrigens neuerdings durch K. L. SCHÄFER (PFLÜGERS Archiv, Bd. 78, 1900, S. 505 ff.) ausgesprochen worden. Für so glücklich ich nun den Gedanken halte, dass der Sitz der Combinationstöne im Labyrinth, nicht vor dem Labyrinth zu suchen sei, so sehr scheinen mir doch die sonstigen Motive berechtigt zu sein, die HELMHOLTZ nach festen Körpern als den Substraten dieser Erscheinungen suchen ließen.

ansehen dürfen. Vielmehr werden auch jenseits desselben, beim Verlauf der Nervenfasern in den Knochen des Labyrinths, Schwingungen von einer bestimmten Tonhöhe die auf sie abgestimmten Fasern vorzugsweise erregen, und es werden so ohne directe Betheiligung des Resonanzapparates Tonempfindungen entstehen können. Erwägt man nun einerseits die Leichtigkeit, mit der Schallwellen in den Schädelknochen sich fortpflanzen, und beachtet man anderseits die eigenthümliche Structur der Spindel der Schnecke mit ihrer Aufsplitterung und Einlagerung der Nervenfäden zwischen feine Knochenlamellen (Bd. 1, Fig. 135, S. 412), so muss man zugestehen, dass diese Einrichtung ebenso sehr dazu angethan scheint, Schwingungen der Labyrinthknochen auf die Acusticusfasern fortzupflanzen, wie diese letzteren den verschiedenen Theilen der Basilarmembran zuzuführen. Entstehen die Combinationstöne durch die Superposition der Schwingungen in den Knochen des Labyrinths, so lässt sich aber daraus insbesondere auch die große Stärke der subjectiven Differenztöne in manchen Fällen verstehen. Eine solche wird namentlich immer dann eintreten, wenn die Zuführung der Schwingungen durch Knochenleitung relativ begünstigt ist gegenüber der Zuleitung durch die Labyrinthflüssigkeit. Darum hört man wohl die Töne überhaupt, und namentlich auch die Differenztöne besonders stark, wenn man schwingende Stimmgabeln direct auf den Schädel aufsetzt; und nicht minder werden die Differenztöne vorzugsweise dann stark gehört, wenn die primären Töne schwach sind und zugleich dissoniren. In diesem Fall ist offenbar die directe Wirkung der Schwingungen der Basilarmembran auf die unterliegenden Nervenfasern eine geringe; aber indem diese Schwingungen selbst auf das feste Gerüste der Schneckenspindel von den Anheftungsstellen der Membran aus übergehen, indess zugleich die Schallwellen direct auf den Knochen einwirken, kann der Gesammteffect den der Reizung im Resonanzorgan selbst übertreffen.

In den oben über die physiologischen Grundlagen der Schwebungsphänomene entwickelten Vorstellungen ist schließlich im wesentlichen schon der Weg zur Beantwortung der letzten auf diesem Gebiet sich erhebenden Frage angedeutet: zu der nach dem Wesen der Geräuschempfindungen. Wenn wir hier von den mit den meisten Geräuschen verbundenen Tonelementen absehen, deren Beziehung zu den zusammengesetzten Geräuschbildungen uns bei der Betrachtung der complexen Geräuschvorstellungen (in Cap. XII) beschäftigen wird, so bleiben als reine Geräuschelemente nur zwei Formen übrig. Die erste wird durch jene Geräusche gebildet, denen wir eine mehr oder minder bestimmte Tonlage geben. Von ihnen wird man wegen ihrer Beziehung zur Tonhöhe

ohne weiteres annehmen dürfen, dass sie, gleich den Tonempfindungen, im Resonanzapparat entstehen; und ihre Deutung ergibt sich hier unmittelbar aus jenen Interferenzphänomenen, die sich auf der Grundmembran entwickeln müssen, sobald Tonwellen zusammentreffen, die starke, über ein relativ ausgedehnteres Gebiet sich erstreckende Schwebungen bilden. Die Fig. 179 *D* erläuterte bereits diesen Uebergang des Schwebungsphänomens in das Geräusch von bestimmter Tonlage. Die zweite Form von Geräuschen entbehrt dieser Beziehung auf eine bestimmte Tonlage. Bei ihr würde es natürlich an sich wohl möglich sein, dass andere physiologische Substrate als die tonerregenden die Träger dieser Empfindungen seien. Doch der Umstand, dass diese »reinen Geräusche« offenbar Grenzfälle bilden, zwischen denen und den durch irgend eine Tonlage determinirten alle möglichen Uebergänge vorkommen, macht die Beziehung auch dieser Erregungen auf den Resonanzapparat der Tonempfindungen um so wahrscheinlicher, als dieser Auffassung physikalische oder physiologische Schwierigkeiten nicht im Wege stehen dürften. Geräuschempfindungen mit bestimmter Tonlage werden nämlich nur so lange entstehen können, als sich die auf den Resonanzapparat einwirkenden Schallbewegungen immer noch in zureichend große Strecken von Sinusschwingungen zerlegen lassen, die, wenn sie auch noch so unregelmäßig interferiren, doch eine bestimmte Region des Resonanzapparates vorwiegend oder ausschließlich in Anspruch nehmen. Sinken dagegen die Bruchstücke von Sinusschwingungen, in die sich der Schallimpuls zerlegen lässt, unter jene Grenze von 2 Doppelschwingungen, die wir als die Zeitschwelle der Tonerregung kennen lernten (S. 81), so werden zwar noch Erschütterungen des Resonanzapparates stattfinden, diese werden aber auf jede mögliche Stelle desselben, und sie werden, wenn sie sehr stark sind, muthmaßlich auch noch auf die Spindel der Schnecke und die in ihr eingeschlossenen Nervenfasern einwirken können. Demnach entbehrt eine solche Erregung des specifischen Toncharakters: sie ist ein Schall, aber kein Ton. Das einfachste Beispiel dieser reinen Geräuscherregung sind eben die Empfindungen, die von Tonwellen von einer unter der Zeitschwelle liegenden Dauer erzeugt werden. Darum ist es bemerkenswerth, dass auch in der Natur ganz besonders sehr kurz dauernde oder mit sehr großer Schnelligkeit wechselnde Geräusche diesen Charakter der reinen, des Toncharakters entbehrenden Schallempfindung besitzen. Zugleich sind nun aber diese Empfindungen von durchaus einfacher, unzerlegbarer Beschaffenheit. Wenn man sie auf ein Gewirre reiner Tonempfindungen zurückführt, wie das geschehen muss, wenn man jeder Acusticusfaser eine specifische Tonqualität zuschreibt, so ist das eine durchaus willkürliche, der unmittelbaren Beobachtung direct widersprechende Annahme.

Ueberdies wird diese Annahme eigentlich schon durch die Existenz der Zeitschwelle bei der Einwirkung reiner Sinusschwingungen widerlegt. Denn die Thatsache dieser Zeitschwelle zeigt eben, dass nicht jeder beliebige Anstoß auf einen Theil des Resonanzapparates und seinen zugehörigen Nerven eine bestimmte Tonempfindung auslöst, sondern dass dies erst dann geschieht, wenn eine Schwingungsbewegung von bestimmter Periode in den Endapparaten erzeugt worden ist. Erregungen unterhalb dieser Grenze bringen eine Erregung hervor, die wir als einfaches Geräusch, nicht als einfachen Ton empfinden. Sind aller Wahrscheinlichkeit nach Tonapparate und Geräuschapparate im Ohr identische Gebilde, so schließt dies demnach jedenfalls auch die weitere Voraussetzung ein, dass der Erregungsvorgang in jeder Nervenendigung nicht bloß von der Beschaffenheit dieser Endigung selbst, sondern dass er auch von der Form des sie treffenden Reizes abhängt, indem jede Faser, die durch regelmäßige Schwingungen zu Tonempfindungen erregt wird, bei der Einwirkung momentaner Erschütterungen Geräuschempfindungen vermittelt.

Von der Ueberzeugung ausgehend, dass die Resonanzhypothese den Schwierigkeiten nicht gewachsen sei, die sich gegen sie von verschiedenen Seiten, namentlich aber aus dem näheren Studium der Combinationstöne ergeben, sind verschiedene Versuche gemacht worden, sie entweder wesentlich zu verändern, oder aber sie durch völlig abweichende Annahmen über die Natur der Acusticuserregung zu ersetzen. Unter diesen Versuchen sind besonders die von L. Hermann und von R. Ewald hervorzuheben, weil ihnen bestimmte Beobachtungen zu Grunde liegen. Hermann sucht die Resonanzhypothese theilweise beizubehalten, jedoch in dem Sinne zu ergänzen, dass die Combinationstöne und namentlich die Intensitätsverhältnisse derselben erklärt werden. Er geht davon aus, dass bei der Interferenz zweier Töne neben den Schwebungen neue Töne, »Mitteltöne«, entstehen müssten, die in jeder Schwebungsperiode ein Maximum und ein Minimum zeigten und beim letzteren ihre Phase umkehrten. Solche Mitteltöne sind allerdings in den meisten Fällen (wo sie nicht etwa mit dem oben erwähnten Zwischenton der Schwebungen zusammenfallen) nicht hörbar. Hermann vermuthet aber, dass sie in Folge ihres Phasenwechsels Unterbrechungstöne erzeugten, die dann eventuell als Differenztöne gehört werden könnten. Da nun weiterhin in vielen Fällen diese Unterbrechungen an Zahl zu klein sind, um selbst als Töne wahrnehmbar zu sein, so nimmt er an, die Ohrresonatoren würden an sich bereits durch Schwingungen erregt, die weit unter der Grenze der hörbaren Töne liegen, sie wirkten aber nicht direct, sondern durch Vermittelung gewisser Zellen, die er wegen der Abhängigkeit der in ihnen anzunehmenden »Assimilations- und Dissimilationsvorgänge« von der Zahl der sie treffenden Impulse »Zählzellen« nennt, auf die Acusticusfasern ein. Jede Zählzelle soll einerseits mit einer Acusticusfaser und anderseits mit allen Resonatoren in Verbindung stehen, und sie soll daher durch die sämmtlichen Resonatoren erregt werden können, die ihrem Eigenton und den höheren Resonatoren von einem Vielfachen der Schwingungen des ersteren entsprechen. Indem nun

das auch für den oben erwähnten Mittelton gelte, soll aus ihm der Combinationston entstehen. HERMANN nimmt demnach eigentlich zwei hinter einander gelegene Systeme von Resonatoren an, von denen das zweite, das der »Zählzellen«, eine Art Summation der in dem ersten ausgelösten verschiedenen Schwingungsbewegungen und dadurch eine Verstärkung gewisser, in den ersten Resonatoren nur schwach anklingender Tonempfindungen zu stande bringe. Da die Dimensionen der Schneckengebilde gegen eine Deutung dieser Resonatorvorrichtungen im mechanisch-akustischen Sinne Bedenken erwecken, so meint aber HERMANN weiterhin, man könne sich vielleicht die Resonatoren, gerade so wie die Zählzellen, statt mit mechanisch-elastischen, mit bestimmten nervösen, d. h. chemischen Eigenschaften ausgerüstet denken[1]. Es scheint mir nicht, dass diese Theorie eine wirkliche Lösung der Schwierigkeiten ist. Abgesehen von der hypothetischen Existenz des Mitteltones, schreibt sie den »Zählzellen« Eigenschaften zu, die man sich mechanisch allerdings kaum verwirklicht denken könnte, und zu denen man irgend ein chemisches Substrat offenbar nur deshalb voraussetzen kann, weil der Chemismus der nervösen Vorgänge bis jetzt noch so dunkel ist, dass hier die Hypothesen einen ziemlich uneingeschränkten Spielraum besitzen. Wenn nun aber darum HERMANN auch die eigentlichen Resonatoren nicht sowohl als mechanisch-akustische, denn als chemische Vorrichtungen auffassen möchte, so entzieht er der Resonanzhypothese gerade diejenige Eigenschaft, die bis dahin ihren Vorzug ausmacht: das verhältnissmäßig klare mechanische Bild, das sie für die Vorgänge der Acusticusreizung nach Maßgabe der bei ihr stattfindenden Klangzerlegung gewährt. Indem die Theorie den Gehörssinn gewissermaßen in einen chemischen Sinn umwandelt, nimmt sie ihm alles das was sowohl nach der Entwicklungsgeschichte dieses Sinnesgebiets wie nach den Beziehungen zwischen Reiz und Empfindung eine wesentliche Eigenart desselben auszumachen scheint, ohne dafür nach der Seite der chemischen Erklärung irgend ein Aequivalent zu bieten, da es vollkommen dunkel bleibt, in welchen Beziehungen die angenommenen Assimilationen und Dissimilationen in den tonrecipirenden Substanzen zur Tonempfindung selbst stehen.

Mehr auf dem Boden mechanisch-akustischer Betrachtungen steht die Hypothese von R. EWALD. Seine Bedenken richten sich hauptsächlich gegen die Zusammensetzung des Gehörapparates aus einer großen Zahl abgestimmter Resonatoren, die ihm mit den Dimensionen und Gewebseigenschaften der zarten Schneckenmembran schwer vereinbar scheint. Er betrachtet demnach diese Membran als ein durchaus zusammenhängendes und bei allen Klangempfindungen in seinem ganzen Zusammenhang wirkendes Gebilde. Hierbei geht er von folgendem Versuch aus. Spannt man eine dünne Kautschukmembran in ihrer Längsrichtung über einen Holzrahmen, und drückt man dann eine schwingende Stimmgabel mit ihrem Stil gegen das eine Ende dieser Membran, so bilden sich auf ihr stehende Wellen, die als »Schallbilder« sichtbar werden und in einem gesetzmäßigen Verhältniss zur Höhe des Tons stehen. Sie lagern sich über einander, wenn man mehrere Töne auf die Membran einwirken lässt. Demnach denkt sich EWALD die Entstehung der Tonempfindungen als eine Wirkung dieser auf der Basilarmembran entstehenden Schallbilder: die räumliche Vertheilung der stehenden Wellen und ihrer

[1] L. HERMANN, PFLÜGERS Archiv, Bd. 56, 1895, S. 467.

Knotenlinien soll aber jedesmal in der ihrer Form entsprechenden Weise auf die Enden des Acusticus wirken und so eine der Form der Wellen entsprechende Empfindung hervorbringen[1]. Obgleich diese Hypothese von der Form der Gehörsreizung ein klareres und dem mechanischen Charakter der Reizform adäquateres Bild gibt als die HERMANN'sche Theorie der Zählzellen und chemischen Resonatoren, so leidet sie doch an zwei erheblichen Uebelständen. Erstens ist es sehr fraglich, ob sich die Erscheinungen an einer der Länge nach geradlinig gespannten Membran auf die schneckenartig gewundene und nach den Ermittelungen von HENSEN mehr der Quere als der Länge nach gespannte Basilarmembran übertragen lassen; und zweitens ist nicht ersichtlich, wie die »Schallbilder«, die auf dieser Membran entstehen, auf die Nervenenden so einwirken können, dass sie in ihnen Erregungen auslösen, die jeweils den Formen jener stehenden Wellen genau entsprechen und dieselben sogar, wie die Phänomene der Klanganalyse zeigen, in ihre Bestandtheile, die einfachen Wellen, zerlegen. Man sollte denken, eine solche zusammengesetzte Bewegungsform könne, wenn sie in ihrer Totalität auf die Hörnerven einwirke, auch immer nur eine diffuse Erregung veranlassen, die eine Zerlegung der Empfindung in ihre Elemente unmöglich mache. So ist es denn offenbar gerade die Thatsache, von der die Resonanzhypothese ausgegangen ist, und die in der That im Vordergrunde jeder Hörtheorie stehen muss, die Klanganalyse, auf welche die EWALD'sche Theorie die Antwort schuldig bleibt[2].

Schon in den vorangegangenen Auflagen des vorliegenden Werkes glaubte ich die Schwierigkeiten, die der Resonanzhypothese aus verschiedenen Erscheinungen erwachsen, durch die Annahme einer directen Erregbarkeit der Acusticusfasern durch Schallwellen beseitigen zu können, bei der übrigens immerhin eine Adaptation der Fasern an bestimmte Tongebiete vorausgesetzt wurde. Nachdem die Stoß- und Intermittenztöne mit größter Wahrscheinlichkeit selbst auf Differenztöne zurückgeführt sind, dürften nun aber gerade die eigenthümlichen Verhältnisse des knöchernen Schneckenlabyrinths in ihrer Beziehung zur Basilarmembran einer solchen Zurückführung der Combinationstöne auf die Ausbreitung der Tonwellen in der Schneckenspindel das Wort reden. Freilich ist es dann unerlässlich, dass man das Princip der specifischen Energie in der Weise, in der es HELMHOLTZ bei der ersten Aufstellung der Resonanzhypothese annahm, fallen lässt. Dieser Schritt dürfte aber im vorliegenden Fall um so näher liegen, als HELMHOLTZ selbst an der principiell aufgestellten Forderung, jede Acusticusfaser sei nur auf e i n e n bestimmten Ton abgestimmt, thatsächlich nicht oder doch nur in einer Form festhält, die sie eigentlich psychologisch unmöglich macht. Indem er nämlich erörtert, dass durch einen einfachen Ton immer ein größerer oder kleinerer Abschnitt der Basilarmembran erregt werde, so dass z. B. nach seinen Voraussetzungen die Größe der Erregung bei einer dem Intervall eines halben Tones entsprechenden Distanz noch $^1/_{10}$ der Haupterregung betragen würde, bleibt nur zweierlei möglich: entweder hören wir in einem einfachen Ton eine Menge

[1] EWALD, PFLÜGERS Archiv, Bd. 76, 1899, S. 147.

[2] Das nämliche gilt in verstärktem Grade von einer Hypothese, die MAX MEYER entwickelt hat (Zeitschrift für Psychologie, Bd. 16 und 17, S. 1 ff., auch abgedruckt in STUMPFS Beiträgen zur Akustik und Musikwiss. 2. Heft, S. 25 ff. PFLÜGERS Archiv, Bd. 78, 1899, S. 346), und die über die Klangzerlegung überhaupt nicht, über die Entstehung der Differenztöne aber nur in sehr fragwürdiger Weise Rechenschaft gibt.

ihm benachbarter Nebentöne, oder die Nervenfasern sind in Wirklichkeit nicht fest abgestimmt, sondern innerhalb einer gewissen Breite der Tonhöhen im stande auf verschiedene Schwingungszahlen mit etwas verschiedenen Empfindungen zu reagiren. Da wir nun bei der Einwirkung einfacher Töne, trotz jener, wie namentlich die subjectiven Interferenzerscheinungen bei den Schwebungen zeigen, nicht zu bezweifelnden Ausbreitung der Erregung über einen gewissen Längenabschnitt der Membran, wirklich nur einfache Töne hören, so ist offenbar die zweite Annahme die einzige, welche möglich bleibt. Mit ihr ist aber auch das Princip der specifischen Energien der einzelnen Acusticusfasern oder der einzelnen peripheren und centralen Endgebilde, mit denen dieselben verbunden sind, durchbrochen: nicht jeder Reiz löst von einer bestimmten Nervenfaser immer nur eine einzige Empfindung aus, sondern mit der Beschaffenheit des Reizes modificirt sich innerhalb eines gewissen Umfangs die Beschaffenheit der nervösen Processe.

Wie die Combinationstöne mit der Resonanzhypothese vollkommen vereinbar erscheinen, sobald man die in einer bloß äußerlichen Verbindung mit ihr stehende, ja ihr eigentlich von vornherein widerstreitende Hypothese von der specifischen Abstimmung der Nervenfasern beseitigt, so lassen sich nun schließlich auch gewisse Abnormitäten der Gehörsfunctionen nach ihr am einfachsten deuten. Vor allem gehört hierher die Erscheinung der Tonlücken, die sich zuweilen als Folgezustände pathologischer Vorgänge oder als Alterserscheinungen, neben der Abnahme der Empfindlichkeit für die höchsten und tiefsten Töne sowie meist auch neben dem Symptom der allgemeinen Schwerhörigkeit, vorfinden. Wenn in einzelnen Fällen in der Linie der Tonempfindungen eine Lücke entsteht, jenseits deren die tieferen und die höheren Töne nach ihrer Tonqualität wohl unterscheidbar bleiben, während alle in die Lücke selbst fallenden Tonreize absolut unhörbar sind, so ist diese Erscheinung offenbar am einfachsten aus der Insufficienz eines Resonanzapparates zu erklären. Alle diejenigen Hypothesen dagegen, die die Empfindung aus der Form irgend einer Gesammterregung abzuleiten suchen, bleiben darauf die Antwort schuldig[1].

Die Resonanzhypothese legt schließlich noch eine Frage nahe, die speciell auch in HERMANNS Modification derselben hineinspielt: die Frage nämlich, ob Tonschwingungen von einer bestimmten Periode möglicher Weise auch solche Resonatoren erregen können, die auf einen Oberton derselben abgestimmt sind. Physikalisch lässt sich diese Möglichkeit um so weniger bestreiten, als man in der That im stande ist, objectiv ein solches Mitschwingen von Obertönen zu erzeugen. Wenn man neben eine kräftig schwingende Stimmgabel eine andere, möglichst empfindliche stellt, deren Ton der Octave

[1] F. BEZOLD, Ueber die functionelle Prüfung des menschlichen Gehörorgans. 1897, vgl. bes. S. 229 ff. BEZOLD, der das Vorkommen solcher Tonlücken in vielen Fällen beobachtete und sorgfältig mit Hülfe einer EDELMANN'schen continuirlichen Tonreihe in Stimmgabeln untersuchte, hat dabei insbesondere auch den Nachweis geliefert, dass innerhalb der Tonlücken die Empfindung überhaupt null wird. In einigen früher beobachteten Fällen, wie z. B. bei der von dem Componisten R. Franz an sich selbst beobachteten, die Töne g^2 bis h^2 umfassenden Tonlücke, blieb dies zweifelhaft, da er den Anschlag dieser Töne am Clavier als ein klatschendes Geräusch wahrnahm. Nach den Befunden von BEZOLD ist es aber wahrscheinlich, dass hierbei nur das Geräusch der Claviertasten gehört wurde. Vgl. über diesen und einige andere Fälle von Gehörsstörungen bei Musikern STUMPF, Tonpsychologie, Bd. 1, S. 411 ff.

oder Duodecime der ersten entspricht, so geräth dieselbe ebenso, nur allerdings erheblich schwächer in Mitschwingungen, wie eine auf den gleichen Ton abgestimmte. Dies geschieht auch dann, wenn an der ersten Gabel keine Spur eines Obertones nachzuweisen ist, oder wenn man der zweiten Gabel die Impulse nicht durch Schallschwingungen, sondern in der Form von elektrischen Stromunterbrechungen eines mit ihr verbundenen Elektromagneten zuführt. Fände ein solches Mitschwingen höherer Resonatoren auch im Gehörorgan statt, so würde also jeder Ton, auch wenn ihm die objectiven Obertöne fehlten, von subjectiven begleitet sein; und diese müssten natürlich auch dann zurückbleiben, wenn man durch die oben beschriebenen Interferenzapparate (Fig. 177, S. 103) jede Spur objectiver Obertöne beseitigte. Da man aber in den so hergestellten einfachen Tönen keine Obertöne mehr hört, so ist daraus zu schließen, dass solche subjective Obertöne bei unseren Klangempfindungen keine merkliche Rolle spielen. Das nämliche gilt von den »Untertönen«, die HUGO RIEMANN[1] in den musikalischen Einzelklängen annahm. Bei ihnen versagt auch der physikalische Versuch, sie objectiv zu erzeugen. Man ist niemals im stande, eine tiefere Stimmgabel durch einen ihrer nächsten Obertöne zum Mitschwingen zu bringen. Diese Frage der subjectiven Ober- und Untertöne ist deshalb nicht ohne Bedeutung, weil diese hypothetischen Töne in der Theorie der Consonanz eine gewisse Rolle gespielt haben. (Vgl. unten Abschn. III, Cap. XII.)

4. Lichtempfindungen.

a. Die einfachen Farben.

Unsere Lichtempfindungen unterscheiden wir nach drei veränderlichen Bestimmungen: 1) nach der Qualität der Farbe oder dem Farbenton, 2) nach der Sättigung der Farbe oder dem Farbengrad, und 3) nach der Lichtintensität oder der Stärke der Empfindung. Unter dem Farbengrad verstehen wir den Grad, in welchem in einer Farbenempfindung die Farbenqualität über die ihr beigemengte farblose Lichtempfindung überwiegt[2]. Wir nennen eine Farbe um so gesättigter, je weniger farbloses Licht (Weiß, Grau oder Schwarz) ihr beigemischt ist; das Weiß selbst nebst seinen Intensitätsabstufungen bis zum Schwarz kann in diesem Sinne als der geringste Grad einer jeden Farbe betrachtet werden. Von den genannten drei Eigenschaften der Lichtempfindung ist im allgemeinen die erste, der Farbenton, von der Wellenlänge, die zweite, der Farbengrad, von der Beimengung von Licht anderer Wellenlänge, die dritte, die Lichtstärke, von der Schwingungs-

[1] H. RIEMANN, Musikalische Logik. 1874, S. 12 ff.

[2] AUBERT (Grundzüge der physiologischen Optik. 1876, S. 517) hat zur Bezeichnung der Sättigung einer Farbe das Wort Farbennuance vorgeschlagen. Da aber dieses Wort seit langer Zeit von vielen Autoren im nämlichen Sinne wie Farbenton gebraucht wird, so sei es erlaubt statt dessen den solchen Verwechslungen minder ausgesetzten und wohl auch an und für sich bezeichnenderen Farbengrad zu gebrauchen.

amplitude abhängig. Wir wollen diese drei Eigenschaften vorläufig so untersuchen, als wenn sie, ähnlich etwa wie die Höhe und Stärke eines Klangs, völlig unabhängig von einander variirt werden könnten, obgleich dies, wie wir später sehen werden, nicht der Fall ist, da die Lichtstärke die Sättigung und diese wieder die Farbenqualität verändert. Von diesen Einflüssen zunächst absehend, werden wir demnach der Untersuchung der Qualität hier nur die einfachen gesättigten Farben zu Grunde legen, das Weiß aber, obgleich es mit demselben Recht wie jede Farbe als eine Empfindungsqualität betrachtet werden kann, soll erst bei dem Farbengrad zur Sprache kommen, weil es innerhalb der Abstufungen einer Farbe den der vollkommenen Sättigung gegenüberstehenden Grenzfall bildet. Endlich die Intensitätsabstufungen des Weiß werden nebst den Intensitäten der Farben an dritter Stelle betrachtet werden.

Der sicherste Weg, um einfache Farbenempfindungen in vollständiger Sättigung herzustellen, besteht in der Zerlegung des gewöhnlichen gemischten oder weißen Lichtes durch Brechung in die einzelnen einfachen Lichtarten von verschiedener Wellenlänge und Brechbarkeit. Lässt man durch einen Spalt im Fensterladen eines verdunkelten Zimmers einen Sonnenstrahl auf ein dreiseitiges Glasprisma fallen, so wird der weiße Strahl in Folge der verschiedenen Brechbarkeit der Lichtarten von verschiedener Wellenlänge, die ihn zusammensetzen, in eine Reihe farbiger Strahlen, ein Spektrum, aufgelöst. Das Licht von der größten Wellenlänge wird am schwächsten, das Licht von der kleinsten am stärksten gebrochen. Jenes empfinden wir roth, dieses violett, und zwischen beiden folgen Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigblau stetig auf einander (Fig. 181)[1].

---

[1] Die folgende kleine Tabelle enthält die aus den Interferenzversuchen berechneten Wellenlängen in Milliontheilen eines Millimeter und die entsprechenden Schwingungszahlen in Billionen auf die Secunde. Die FRAUNHOFER'sche Linie, aus deren Umgebung der Farbenton genommen wurde, ist in Klammer beigefügt. Die letzte Columne enthält außerdem die von S. P. LANGLEY (Americ. Journ. of Science, vol. 36, p. 359) mittelst der Wärmeabsorption durch Ruß bestimmte relative Schwingungsenergie der einzelnen Strahlen.

		Wellenlänge	Schwingungs-zahl	Energie
Roth	(*B*)	687,8	450	21,6
Roth	(*C*)	656,4	472	22,1
Gelb	(*D*)	588,8	526	21,6
Grün	(*E*)	526,0	589	19,1
Blau	(*F*)	484,3	640	15,5
Indigblau	(*G*)	429,1	722	9,1
Violett	(*H*)	392,8	790	4,8

Für das reine Blau wird häufig auch der Ausdruck Cyanblau (Cyaneum nach NEWTON) angewandt. Durch Abblendung des übrigen Spektrums lässt sich noch eine kleine Strecke jenseits der dunkeln Linie *L*, die das gewöhnlich sichtbare Violett begrenzt, eine Farbe erkennen, das Ultraviolett, das bis zu einer Linie *R* reicht, die einer Wellenlänge von 310,8 (Schwingungszahl 912) entspricht. Das Roth lässt sich unter günstigen Umständen

Ein in der Richtung der aus dem Prisma austretenden Strahlen blickendes Auge nimmt diese Farbenreihe unmittelbar als ein subjectives Spektrum wahr. Bringt man dagegen in einiger Entfernung von dem Prisma einen weißen Schirm an, so wird auf dem letzteren ein objectives Spektrum in Form eines farbigen Bandes entworfen. Durch Einschaltung einer achromatischen Sammellinse in die austretenden Strahlen unmittelbar hinter dem Prisma wird die deutliche Sonderung der Theile des Spektrums wesentlich unterstützt. Außerdem lassen sich durch wiederholte Brechung in mehreren hinter einander aufgestellten Prismen die einzelnen Spektralfarben vollständiger von einander isoliren. Die auf anderem Wege, nicht durch Zerlegung des Sonnenlichtes, gewonnenen Farben besitzen im allgemeinen keine vollständige Sättigung: so also namentlich auch diejenigen, welche in Folge der Absorption entstehen, die gewisse Strahlen des weißen Lichtes bei der Brechung und Reflexion erfahren. Von farbigen Gläsern oder farbigen Pigmenten kommt daher immer Licht verschiedener Brechbarkeit, wie durch Zerlegung solchen Lichtes mittelst des Prismas sich zeigen lässt. Doch kann man beim Durchgang des Lichts durch farbige durchsichtige Medien bei geeigneter Combination dieser Medien Farben erhalten, die den einfachen des Spektrums fast vollständig gleichkommen, abgesehen davon dass sie eine geringere Lichtstärke besitzen.

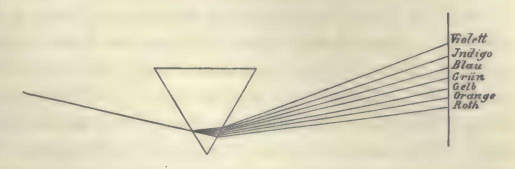


Fig. 181. Farbenzerlegung durch Lichtbrechung im Prisma.

Die auf solche Weise hergestellten einfachen Farben bilden nun eine Reihe stetig in einander übergehender Empfindungen. Die ganze Mannigfaltigkeit derselben kann demnach, ähnlich der Tonreihe, durch eine Linie dargestellt werden. Jede qualitativ bestimmte Farbenempfindung bildet einen Punkt dieser Linie, von dem man stetig durch allmähliche Uebergänge zu jedem beliebigen andern Punkte gelangen kann. Aber die Farbenlinie unterscheidet sich von der Tonlinie zunächst dadurch, dass eine bestimmte, den Abstufungen des äußeren Reizes entsprechende Stufenfolge der Empfindungen nicht nachweisbar ist. Eine Farbenscala, in dem Sinne wie es eine Tonscala gibt, existirt nicht[1]. Sodann zeigen die Farbenempfindungen

bis zu einer Linie *A* mit der Wellenlänge 761,7 (Schwingungszahl 412, Schwingungsenergie 20,4) erkennen. Im Spektrum des Rubidiumdampfes erscheinen aber noch etwas jenseits von *A* zwei intensiv rothe Linien.

[1] Wenn man trotzdem, wie es mehrfach geschehen ist (NEWTON, Optice, lib. I, pars II, tab. III, fig. 11. HELMHOLTZ, Physiol. Optik, Taf. IV, Fig. 1), eine Farbenscala entwarf, so

die bemerkenswerthe Eigenthümlichkeit, dass sich die zwei an den beiden Enden des Spektrums stehenden Farben, das Roth und Violett, in ihrer qualitativen Beschaffenheit wieder einander nähern, demnach sich ähnlich verhalten wie zwei im Spektrum benachbarte Farben, z. B. Roth und Orange oder Blau und Indigblau. Die Farben bilden also nicht, wie die Töne, eine Linie, die immer in derselben Richtung fortschreitet, sondern das Ende dieser Linie nähert sich wieder ihrem Anfang. Dies bedeutet offenbar, dass die genannte Linie keine gerade ist, sondern eine irgendwie gekrümmte oder geknickte Form hat. Jene Verwandtschaft zwischen den beiden Endfarben des Spektrums tritt aber am deutlichsten darin zu Tage, dass, wenn man dieselben mischt, eine gesättigte, subjectiv vollkommen einfache Farbe entsteht, welche je nach dem Mengeverhältniss der Componenten alle möglichen Uebergangstöne zwischen Roth und Violett enthält. Diese Farbe ist das Purpur. Dasselbe liegt dem Roth näher, wenn in der Mischung das Roth überwiegt (Karmesinroth), es nähert sich dem Violett, wenn von dieser Farbe mehr in die Mischung eingeht (eigentliches Purpur). Hiernach bilden unsere Farbenempfindungen eine in sich zurücklaufende Mannigfaltigkeit, und sie lassen sich durch irgend eine in sich geschlossene Curve, am einfachsten durch eine Kreislinie darstellen. Die Farbenlinie lässt sich somit nicht, wie die Tonlinie, nach beiden Richtungen ins unendliche fortgesetzt denken, sondern der Umfang der Farbenempfindungen ist ein in sich begrenzter. Ja es scheint, als wenn, falls wir uns die Veränderungen des Violett und des Roth, wie sie gegen die Enden des Spektrums hin stattfinden, weiter fortgeführt denken wollten, dies nur in der Richtung der Farbentöne des Purpur geschehen könnte[1]. Uebrigens ist der Kreis zwar die einfachste Form, die wir für die Farbenlinie voraussetzen können, aber keineswegs die einzige; irgend eine andere gegen ihren Ausgangspunkt zurücklaufende Curve, ja eine geknickte, aus gekrümmten oder geraden Theilen zusammengesetzte Linie, z. B. ein geradliniges Dreieck, würde das nämliche leisten. Bedingung bei allen diesen Darstellungen bleibt nur, dass die beiden Enden sich wieder nähern und, wenn man die Ergänzung durch Purpur hinzunimmt, in einander übergehen. Die purpurnen Farbentöne sind aber zugleich die einzigen unter allen Mischfarben, denen keine der einfachen

---

stützte man sich daher lediglich auf physikalische Analogien, nicht auf die subjectiven Eigenschaften der Farbenempfindung.

[1] Die gewöhnlich nicht sichtbaren brechbarsten Strahlen des Spektrums, die aber bei Ausschluss alles andern Lichtes sichtbar gemacht werden können, die übervioletten Strahlen, erscheinen allerdings nicht purpurfarben, sondern bläulicher als das eigentliche Violett. Aber dieser bläuliche Farbenton wird durch die Fluorescenz der Netzhaut bedingt, die bei den übervioletten Strahlen im Verhältniss zur Intensität der Empfindung ihre größte Stärke erreicht.

Farben des Spektrums gleich ist. Mit der Ergänzung durch Purpur stellt also unsere Farbenlinie alle überhaupt möglichen Farbenempfindungen dar.

Will man die Farbenlinie ohne Rücksicht auf die später zu besprechenden Mischungserscheinungen, bloß nach der Abstufung der Empfindung construiren, so ist der Kreis die einfachste Form, weil der Kreis die einfachste in sich zurücklaufende Linie ist. Es bleibt dann aber noch die Ausdehnung, die den einzelnen Farbentönen gegeben werden soll, willkürlich. Sollte hierfür aus der unmittelbaren Empfindung ein Maß genommen werden, so würde, da eine sichere quantitative Vergleichung beliebiger endlicher Farbenintervalle nicht möglich ist, nur übrig bleiben, ähnlich wie bei der Abstufung der Empfindungsintensität, von der Schätzung minimaler Unterschiede auszugehen. Es fehlt zur Zeit noch an einer hinreichend exacten Grundlage für die Ausführung einer solchen Construction. Da im Gelb und im Blau die relativ größte, im Grün eine geringere und bei den Endfarben des Spektrums, Roth und Violett, die kleinste Empfindlichkeit für Aenderungen des Farbentons vorhanden ist, so würde aber wohl die größte Bogenlänge auf einem solchen nach Graden der Unterschiedsempfindlichkeit construirten Kreis dem Gelb und dem Blau, eine kleinere dem Grün, und die kleinste dem Roth und Violett anzuweisen sein (Fig. 182). Die drei letztgenannten sind diejenigen Farben, die, wie wir unten sehen werden, auch bei den Erscheinungen der Farbenmischung eine ausgezeichnete Rolle spielen.

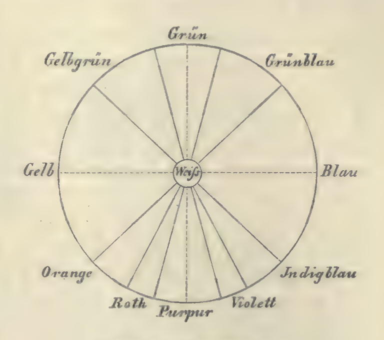


Fig. 182. Farbenkreis.

Zur Messung der Unterschiedsempfindlichkeit der in der Farbenlinie auf einander folgenden Farben können nun, mit den geeigneten Modificationen, die nämlichen Methoden verwendet werden, deren man sich zur Bestimmung der Empfindlichkeit für Intensitätsunterschiede bedient (Bd. 1, S. 466). Am directesten ergeben sich auch hier wieder die Unterschiedsschwellen nach der Methode der Minimaländerungen. So fand DOBROWOLSKY[1], als er bei Einstellung auf möglichst gleiche Helligkeit

[1] DOBROWOLSKY, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 18. 1, 1872, S. 66. Durchgängig kleiner sind die Zahlen, die früher MANDELSTAMM erhielt, ebend. Bd. 13, 2, 1867, S. 399. Wahrscheinlich hängt dies damit zusammen, dass in den Beobachtungen des letzteren der Einfluss der Helligkeitsunterschiede auf die Unterschiedsempfindlichkeit nicht zureichend

zwei über einander entworfene Spektren bis zur Grenze eben merklicher Unterschiede des Farbentons gegen einander verschob, wenn jedesmal die absolute Wellenlänge, in Bezug auf welche der eben merkliche Unterschied zu bestimmen war, = 1 gesetzt wurde, folgende Werthe der relativen Unterschiedsschwelle:

Roth (Linie *B—C*)	Orange (*C—D*)	Gelb (*D*)	Gelbgrün (*D—E*)	Grün (*E*)
1/115—1/167	1/331	1/772	1/246	1/340

Grünblau (*E—F*)	Blau (*F*)	Indigblau (*G*)	Violett (*G—H*)
1/615	1/740	1/272	1/146

Im wesentlichen zu demselben Ergebnisse führten Versuche von ARTH. KÖNIG und DIETERICI nach der Methode der mittleren Fehler, wie die folgende Uebersicht zeigt, deren Zahlen Milliontheile eines Millimeter bedeuten. Zu einer gegebenen Spektralfarbe wurde die entsprechende eines zweiten Spektrums so eingestellt, dass beide einander gleich erschienen[1].

Wellenlängen		Mittlerer Fehler einer Einstellung	
		K	*D*
640	(Roth)	1,28	1,82
610	(Orange)	0,56	0,78
580	(Gelb)	0,27	0,36
540	(Gelbgrün)	0,68	0,64
520	(Grün)	0,59	0,51
500	(Grünblau)	0,23 (0,41)	0,28 (0,29)
480	(Blau)	0,28 (0,33)	0,26 (0,23)
450	(»)	0,44 (0,82)	0,40 (0,57)
430	(Indigblau)	1,06 (0,69)	0,56 (0,56)

Da die Größe des unter *K* und *D* angegebenen mittleren Fehlers der Unterschiedsempfindlichkeit reciprok ist, so zeigt auch diese Tabelle Minima der U.-E. im Roth, Grün und Violett, Maxima im Gelb und Blau. Zugleich ergaben sich jedoch bei den kürzeren Wellenlängen ziemlich bedeutende Abweichungen bei schwacher und starker Beleuchtung. (Die Zahlen für starke Lichtintensitäten sind in Klammern beigefügt.)

---

eliminirt war. Wie bedeutend dieser Einfluss ist, ergibt sich aus Versuchen von P. MENTZ (Philos. Stud. Bd. 13, 1898, S. 481), in denen die Unterschiedsempfindlichkeit ohne Reduction auf gleiche Helligkeit untersucht und ebenfalls bedeutend größer gefunden wurde. Innerhalb einzelner Theile des Spektrums ging hier die relative U.-Schwelle bis auf 1/2000 bis 1/3000 herab, und es fanden sich im ganzen im Verlauf des Spektrums 28 Minima und 27 Maxima der U.-E., also nicht weniger als 55 Wendepunkte derselben. Damit stimmt überein, dass A. KÖNIG (Zeitschrift für Psychologie, Bd. 8, 1895, S. 375 ff.) die Zahl der im Spektrum merklich von einander verschiedenen Farbentöne für das normale Auge auf 160, die Zahl der unterscheidbaren Helligkeitsstufen aber auf 660 schätzt.

[1] A. KÖNIG und C. DIETERICI, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 30, 1884, S. 171 ff. Wesentlich übereinstimmende Resultate erhielt UHTHOFF (ebend. Bd. 34, 4, 1889, S. 1 ff.) nach der Methode der eben merklichen Unterschiede sowie A. KÖNIG in späteren Beobachtungen (Zeitschrift für Psychologie u. Physiologie der Sinnesorgane, Bd. 3, 1892, S. 105). Im Unterschiede von den Resultaten DOBROWOLSKYS war in allen diesen Versuchen das zweite Maximum der Empfindlichkeit (bei *F*) etwas größer als das erste (bei *D*) und mehr gegen Grünblau verschoben. Ein von UHTHOFF u. A. beobachtetes drittes Maximum im Violett rührt, wie KÖNIG fand, nur von Helligkeitsunterschieden her.

Die in diesen Ergebnissen ausgedrückte Beziehung lässt sich hiernach zur Darstellung bringen, wenn man sich die Bogenstücke des Farbenkreises (Fig. 182), durch welche die Unterschiedsempfindlichkeit gemessen wird, in senkrechte Ordinaten verwandelt und auf eine Abscissenlinie aufgetragen denkt, auf welcher die Farben nach ihrer Brechbarkeit geordnet sind. Man erhält so eine Curve, die sich beim Roth erhebt, beim Gelb ihr erstes Maximum erreicht, dann im Grün zu einem relativen Minimum fällt, im Blau zu einem zweiten Maximum steigt und endlich im Violett wieder sinkt. Die drei niedrigsten Punkte dieser in Fig. 183 auf ein ideales, symmetrisches Schema reducirten Curve entsprechen der Anfangs- und Endfarbe sowie der mittleren Farbe des Spektrums.

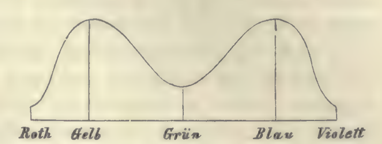


Fig. 183. Schema des Verlaufs der Unterschiedsempfindlichkeit im Farbensystem.

Ein gewisses, freilich noch von mancherlei andern Bedingungen abhängiges Maß für die Unterschiede unserer Farbenempfindungen bieten ferner die Farbenbezeichnungen der Sprache, insofern einzelne der einfachen Farben durch ältere und ursprünglichere Bezeichnungen unterschieden werden als die übrigen. Sie sind Hauptfarben (auch Principalfarben) genannt worden, während man ihnen die andern als Uebergangsfarben gegenüberstellt. Als solche Hauptfarben treten deutlich durch ihre charakteristischen Namen Roth, Gelb, Grün und Blau hervor. Indem die Uebergangsfarben zwischen je zwei Hauptfarben liegen, können sie in der Empfindung als Zwischenstufen aufgefasst werden. Dies hat meist auch in den sprachlichen Bezeichnungen derselben, wie Violett (Veilchenblau), Orangegelb, Gelbgrün u. s. w., seinen Ausdruck gefunden. Hieraus darf natürlich noch nicht geschlossen werden, dass in unserer unmittelbaren Empfindung die Hauptfarben einen von den Uebergangsfarben specifisch verschiedenen Charakter besäßen; sondern da die Farben, wie die Geschichte der Sprache wahrscheinlich macht, überall von gewissen äußeren Objecten ihre Namen erhalten haben, so scheinen vielmehr bestimmte Sinneseindrücke die Wahl der Hauptfarben veranlasst zu haben, worauf dann von selbst den übrig bleibenden die Stellung von Uebergangsfarben zufallen musste. Nur der Umstand, dass es gerade vier Hauptfarben gibt, mag vielleicht in der subjectiven Natur der Empfindung eine gewisse Grundlage haben, da je zwei benachbarte Hauptfarben einander nahe genug sein müssen, damit bei allen zwischenliegenden Empfindungen eine Verwandtschaft mit beiden merklich werde. Wenn wir die Farbenreihe als eine in sich zurücklaufende Curve betrachten,

so wird dadurch außerdem verständlich, dass es für jeden Punkt derselben einen andern gibt, der einer Empfindung von der größtmöglichen qualitativen Verschiedenheit entspricht. Bei der oben angedeuteten Construction des Farbenkreises nach der subjectiven Abstufung der Empfindungen sind dann, wenn man sich die Ergänzung durch Purpur hinzudenkt[1], als Punkte der größten Farbendifferenz offenbar solche zu betrachten, die von den Enden je eines Kreisdurchmessers berührt werden; und die vier Hauptfarben erhält man, wenn zuerst das zwischen den Enden des Spektrums gelegene Purpur mit der ihm gegenüberliegenden mittleren Spektralfarbe Grün durch einen Durchmesser verbunden und außerdem der hierauf senkrechte Durchmesser gezogen wird: der letztere trifft jetzt die zwei weiteren Hauptfarben Gelb und Blau (Fig. 182). Das Purpur statt des Roth zu wählen, dürfte deshalb gerechtfertigt sein, weil es die gleich ausgeprägte Differenz zu den drei andern Hauptfarben zeigt, während mit demselben die Anfangs- und die Endfarbe des Spektrums in gleichem Maße verwandt erscheinen.

b. Farbengrad und Farbenmischung.

Der Farbengrad besteht in jener Eigenthümlichkeit der Lichtempfindung, welche durch die mehr oder weniger bedeutende Beimengung der farblosen Empfindung zu einer reinen Farbenempfindung bedingt wird. Das Weiß lässt sich als der geringste Grad jeder möglichen Farbenempfindung betrachten, und als gleichbedeutend mit Weiß müssen in dieser Beziehung dessen verschiedene Intensitätsabstufungen, Grau und Schwarz, gelten. Der Begriff einer gesättigten Farbe hat demnach durchaus nur eine subjective Bedeutung, und die Empfindlichkeit des Farbengrades ist daher auch in hohem Grade von unserer wechselnden Empfindlichkeit abhängig. Ist z. B. das Auge für Licht von einer gewissen Farbe abgestumpft, so kann uns eine geringe Beimengung derselben entgehen: es kann also ein etwas gefärbtes Licht vollkommen weiß erscheinen. Auf der andern Seite besitzen die Empfindungen, welche die reinen Spektralfarben im unermüdeten Auge erzeugen, nicht die größte Sättigung, die einer Farbe überhaupt zukommen kann. Ist z. B. das Auge für grünes Licht ermüdet, so erscheint das spektrale Roth in den ersten Augenblicken der Betrachtung gesättigter, als es gewöhnlich vom unermüdeten Auge gesehen wird. Der Begriff einer absolut gesättigten Farbe ist also ein Grenzbegriff, dem sich unsere realen Empfindungen mehr oder weniger annähern. Wenn wir die reinen Spektralfarben, wie sie dem unermüdeten

[1] Um für das Purpur die entsprechenden Werthe der Unterschiedsempfindlichkeit zu gewinnen, könnte man vielleicht die eben merklichen minimalen Mischungsänderungen von Roth und Violett als Maße der Unterschiedsschwelle benutzen.

Auge erscheinen, zum Maß gesättigter Farbenempfindungen nehmen, so hat dies nur die Bedeutung, dass sie unter unsern wirklichen Empfindungen in der That im allgemeinen die höchsten Farbengrade darstellen. Weiß, Grau oder Schwarz aber nennen wir alle jene Empfindungen, in denen keine farbige Beimengung mehr wahrnehmbar ist.

Die gewöhnliche Ursache, durch die aus gesättigten Empfindungen solche von geringerem Sättigungsgrade entstehen, ist nun die Mischung gesättigter Farben. Es ist dies zugleich der einzige Weg, auf welchem, wenn die Empfindlichkeit der Netzhaut ungeändert bleibt, der Farbengrad ohne gleichzeitige Aenderung der Lichtstärke geändert werden kann, der einzige also, der hier zunächst in Frage kommt, da uns der Einfluss der Lichtstärke auf die Qualität der Farbenempfindung erst später beschäftigen soll.

Eine Mischung gesättigter oder nahehin gesättigter Farben lässt sich nach verschiedenen Methoden bewerkstelligen. Man kann entweder direct Spektralfarben mischen, indem man die einzelnen Strahlen des prismatischen Spektrums (Fig. 181) wieder durch Brechung vereinigt, oder man kann das von Pigmenten reflectirte Licht mischen, wobei freilich die in die Mischung eingehenden Componenten niemals die Sättigung der Spektralfarben besitzen. Statt der directen Mischung der Aetherwellen lassen sich aber auch die Empfindungen mischen, indem man mittelst des Farbenkreisels in sehr rascher Zeitfolge auf eine und dieselbe Stelle der Netzhaut verschiedenartige Eindrücke einwirken lässt. Nach allen diesen Methoden findet man, dass die Mischung aller Spektralfarben in dem Intensitätsverhältniss, wie sie das Sonnenspektrum darbietet, Weiß erzeugt, eine Thatsache, die den aus der Zerlegung des gemischten Sonnenlichtes in die einzelnen Spektralfarben folgenden Schluss bestätigt. Man findet aber ferner, dass derselbe Erfolg durch eine geringere Anzahl, ja bei geeigneter Wahl durch zwei einfache Farben bereits herbeigeführt werden kann. Zwei Farben, die qualitativ einander nahe stehen, geben nämlich gemischt einen Farbenton, der auch im Farbenkreis zwischen ihnen liegt; dieser nimmt, wenn die Farben weiter aus einander rücken, allmählich eine weißliche Beschaffenheit an, und bei einem bestimmten Unterschiede der Mischfarben geht, wenn dieselben in den geeigneten Intensitätsverhältnissen zusammenwirken, die resultirende Farbe in Weiß über. Wählt man die Distanz noch größer, so entsteht dann wieder eine Farbe, diese liegt aber im Spektrum nicht mehr in der Mitte zwischen den beiden Mischfarben, sondern zwischen der zweiten (brechbareren) Farbe und dem Ende des Spektrums, oder sie ist, wenn die Enden des Spektrums selber gemischt werden, Purpur. Jene Farben nun, die in den geeigneten Intensitätsverhältnissen mit einander gemischt Weiß geben, nennt man

Ergänzungsfarben (Complementärfarben). Auf diese Weise findet man, dass

Roth und Grünblau,
Orange und Blau,
Gelb und Indigblau,
Grüngelb und Violett,
Grün und Purpur

einander complementär sind. Aus dieser Zusammenstellung folgt nach dem obigen von selbst, dass Roth mit einer vor Grünblau gelegenen Farbe, z. B. Grün, gemischt, je nachdem Roth oder Grün mehr überwiegt, successiv Orange, Gelb, Gelbgrün gibt, dass dagegen Roth mit Blau gemischt Indigblau, Violett oder Purpur erzeugt, und ähnlich bei den übrigen Farben. Aus diesen Thatsachen lassen sich nun Bedingungen entwickeln, durch welche die Gestalt der Farbenlinie, statt wie oben nach der Abstufung der Farbenempfindung, vielmehr nach dem gegenseitigen Verhalten der einzelnen einfachen Farben bei Mischungen näher bestimmt wird. Sucht man hierbei dem Mischungsgesetz der Spektralfarben zugleich einen quantitativen Ausdruck in der Farbencurve zu geben, so kann dies folgendermaßen geschehen. Man stellt die Bedingung, dass, wie im Farbenkreis, alle zwischen je zwei Complementärfarben gezogenen Geraden in einem einzigen Punkte sich schneiden; dagegen sollen diese Geraden nicht mehr einander gleich, sondern so bestimmt sein, dass die Entfernung je einer Complementärfarbe vom Durchschnittspunkt umgekehrt proportional ist der Intensität, in der sie, spektrale Sättigung und Helligkeit vorausgesetzt, angewandt werden muss, um Weiß zu erzeugen. Oder mit andern Worten: die Theile der Geraden, welche zu beiden Seiten des Durchschnittspunktes liegen, sollen der complementären Wirksamkeit der entsprechenden Spektralfarben direct proportional sein. Unter dieser Bedingung erhält man die in Fig. 184 dargestellte Curve RGV. Die Lücke zwischen R und V kann man sich durch das unter den Spektralfarben fehlende Purpur, das objectiv nur durch Mischung von Roth und Violett erzeugt werden kann, ausgefüllt denken. Werden die gesättigten Farbentöne des Purpur (P), was freilich an sich willkürlich ist, auf einer geraden Linie liegend gedacht, so entsteht dann wiederum eine geschlossene Figur, die alle Farbentöne und Farbengrade enthält, diesmal aber in ihrer Form einem Dreieck sich nähert. W ist der Durchschnittspunkt aller Geraden, die je zwei Complementärfarben verbinden. Diese werden sämmtlich durch den Punkt W so getheilt, dass z. B. $V \cdot VW = G' \cdot G'W$ ist, wenn V die Intensität des Violett, G' die des Gelbgrün bedeutet, während VW und $G'W$ den complementären Wirkungen der Farben V und G' des Spektrums proportional

sind. Man kann sich, wie dies schon NEWTON[1] gethan hat, die in W zusammenlaufenden Linien als Hebelarme vorstellen, an welchen die einzelnen Farben als Gewichte wirken: dann bedeutet W den Schwerpunkt des Farbensystems, und die Bedingung für die Wahl complementärer Farben ist, dass diese als Kräfte betrachtet mit einander im Gleichgewicht stehen müssen.

Durch die hier gewählte Form der Curve wird noch eine weitere Thatsache ausgedrückt, die bei der Farbenmischung zur Geltung kommt. Mengt man zwei Spektralfarben, die nahe bei einander und zugleich nahe dem einen oder andern Ende des Spektrums liegen, so hat die resultirende

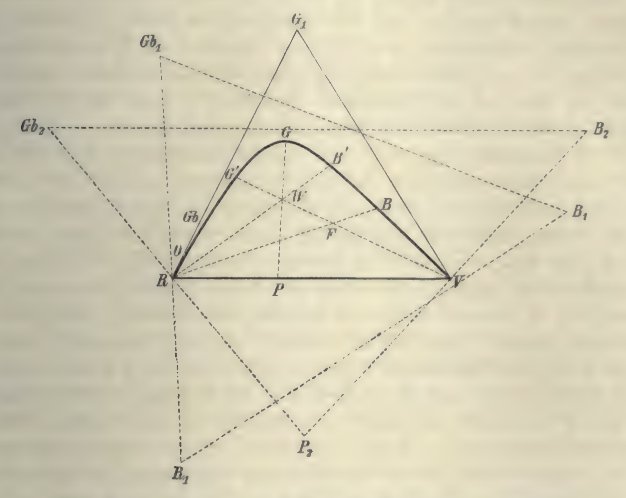


Fig. 184. Farbendreieck auf Grund der Schwerpunktconstruction.

Mischfarbe nahezu spektrale Sättigung. Spektrales Roth und Gelb ($R + Gb$) gemischt geben also ein gesättigtes Orange (O), ebenso spektrales Violett und Blau ($V + B$) ein nahezu spektrales Indigblau. Dies ist aber nicht mehr der Fall bei den Farben, die sich mehr der Mitte des Spektrums, dem Grün, nähern. Hier entsteht durch die Mischung nahestehender Farben immer ein minder gesättigter, also weißlicherer Farbenton, als ihn die zwischenliegende Spektralfarbe besitzt. Demgemäß verläuft die Curve einerseits vom Roth bis zum Gelbgrün (R bis G'), anderseits vom Violett

[1] NEWTON, Optice, lib. I, pars II, prop. VI.

bis zum Blaugrün (*V* bis *B'*) annähernd geradlinig, in der Gegend des Grün aber ist sie gebogen. Wollte man aus den drei Farben Roth, Grün und Violett alle Farben in vollkommen spektraler Sättigung hervorbringen, so müsste man also mindestens eine dieser Mischfarben, nämlich das Grün, gesättigter nehmen, als sie im Spektrum vorkommt. Dann würden sich alle so entstehenden Farben auf einem geradlinigen Dreieck $R G_1 V$ anordnen lassen. Die Seiten dieses Dreiecks enthalten daher ein imaginäres (in unserer Empfindung, abgesehen von den Endfarben *R* und *V*, nicht existirendes) Farbensystem, während die realen Farben des Spektrums auf der innerhalb des Dreiecks liegenden Curve *RGV* angeordnet sind.

Auf solche Weise führen die Modificationen, die der Farbencurve gegeben werden können, um das Verhalten der Farben in Mischungen auszudrücken, unmittelbar zur Ergänzung derselben durch die gleichzeitige Darstellung der möglichen Sättigungsgrade. Bleiben wir beim Farbenkreis stehen, so lässt sich der Mittelpunkt desselben, in dem sich alle Durchmesser schneiden, die je zwei Complementärfarben verbinden, als der Ort des Weiß betrachten (Fig. 182). Die verschiedenen Sättigungsstufen einer Farbe liegen dann sämmtlich auf dem Halbmesser, der die der gesättigten Farbe entsprechende Stelle der Peripherie mit dem Mittelpunkte verbindet. Denkt man sich den ganzen Kreis in einzelne Ringe getheilt, so enthalten diese von außen nach innen immer weißlichere Farbengrade; innerhalb jedes Ringes findet aber ein ebenso stetiger Uebergang der Farbentöne in einander statt, wie bei den die Peripherie einnehmenden gesättigten Farben. Man hat also zweierlei stetige Uebergänge: einen in der Richtung des Halbmessers von den gesättigten zu den minder gesättigten Farbengraden, und einen zweiten in der Richtung der Winkelbogen von einem Farbenton zum andern. Je kleiner der auf denselben Winkelgrad fallende Bogen wird, d. h. je mehr man sich dem Mittelpunkt nähert, um so kleiner werden die Unterschiede der Farbentöne, bis sie endlich im Mittelpunkt ganz aufhören, da hier das Weiß für alle Farben zugleich das Minimum der Sättigung darstellt. Wie demnach die Farbentöne für sich genommen ein Continuum von einer, so bilden sie im Verein mit den Farbengraden betrachtet ein Continuum von zwei Dimensionen, und wie die Kreislinie die Farbentöne, so stellt die Kreisfläche sie und die Farbengrade in der einfachsten Form dar. Will man zugleich die quantitative Seite des Mischungsgesetzes zum Ausdruck bringen, und legt man unmittelbar die Verhältnisse der Spektralfarben oder ihnen möglichst angenäherter farbiger Pigmente auf rasch rotirenden Scheiben zu Grunde, so geht dann der Farbenkreis in die von der Curve in Fig. 184 umgrenzte Fläche über. Der Schwerpunkt *W* ist hier der Ort des Weiß, und auf den Geraden, die von der Peripherie der Curve nach dem Punkte *W*

gezogen werden, liegen die weißlichen Farbengrade. Die so gewonnene Farbenfläche hat dann nicht bloß für die Mischung der Complementärfarben zu Weiß, sondern überhaupt für die Entstehung beliebiger Mischfarben aus einfachen Farben ihre Bedeutung. Die an der Stelle F gelegene Farbe z. B. wird durch Mischung zweier Farben R und B erhalten, deren Intensitätsverhältniss durch die Gleichung $R \cdot RF = B \cdot BF$ gegeben ist. Die nämliche Farbe kann aber noch aus andern Componenten, deren Verbindungslinien sich in F schneiden, gewonnen werden, z. B. aus V und G', wobei wieder $V \cdot VF = G' \cdot G'F$ sein muss. Hierin liegt auch der Grund, dass, wie oben bemerkt, die einfache Farbenlinie geradlinig bleiben muss, so lange die aus der Mischung zweier Spektralfarben hervorgehende mittlere Farbe eine spektrale Sättigung hat. Denn in diesem Fall muss eben die gerade Verbindungslinie der gemischten Farben mit der Farbenlinie selbst zusammenfallen, während sie, wo die Mischfarbe weißlich ist, nach einwärts von der Farbenlinie gegen die weiße Mitte zu liegt. Dies kann aber nur eintreten, wenn die Farbenlinie einen gekrümmten Verlauf hat. Letzteres ist daher wegen der weißlichen Beschaffenheit der Mischfarbe bei allen etwas entfernter von einander liegenden Spektralfarben vorauszusetzen. Nur die dem Purpur entsprechende Verbindungslinie ist als eine Gerade anzusehen, denn die Mischung von spektralem Roth und Violett erzeugt niemals weißliche Farbentöne, was freilich wiederum seinen Grund darin hat, dass das Purpur objectiv überhaupt nur durch diese Mischung erzeugt werden kann.

Aus den Erscheinungen der Farbenmischung geht hervor, dass zur Erzeugung aller möglichen Farbenempfindungen keineswegs alle möglichen Arten objectiven Lichtes erforderlich sind, sondern dass hierzu eine beschränktere Zahl von Farbentönen genügt. Diejenigen Farben, die durch Mischung in wechselnden Mengeverhältnissen alle Farbenempfindungen sowie die Empfindung Weiß hervorbringen können, hat man die Grundfarben genannt. Sowohl aus der Betrachtung der Complementärfarbenpaare wie aus der Gestalt der nach den Mischungserscheinungen construirten Farbentafel erhellt, dass mindestens drei solche Grundfarben nöthig sind. Alle zwischen Roth und Grün liegenden Farben kann man nämlich, wenn auch in etwas verminderter Sättigung, durch Mischung von Roth und Grün, ebenso alle zwischen Violett und Grün durch Mischung von Violett und Grün erhalten, während Roth und Violett zusammen Purpur geben. Purpur und Grün sind aber Complementärfarben, geben also zusammen Weiß. Demnach kann man aus Roth, Grün und Violett das Weiß, die sämmtlichen Farbentöne und das Purpur mit ihren Uebergängen zu Weiß gewinnen. Das nämliche erhellt aus der Betrachtung der idealen Farbentafel RG_1V in Fig. 184, in der die Lage der Farben

des Spektrums auf den zwei einen Winkel bildenden Seiten des Dreiecks andeutet, dass die Mischung je einer Endfarbe des Spektrums mit jener mittleren Farbe, welche die Stelle des Winkels einnimmt, die im Spektrum zwischenliegenden Farbentöne erzeugt. Jene winkelständige Farbe selbst, das Grün, ist aber zu Purpur, der Mischung der beiden endständigen Farben, complementär: auch diese Construction führt also auf Roth, Grün und Violett als Grundfarben. Hierbei weist jedoch der Umstand, dass die gesättigten Farben des Spektrums nicht auf den Seiten RG_1 und VG_1, sondern auf der von diesen Seiten umschlossenen gekrümmten Linie RGV liegen, dass also der ganze außerhalb RGV liegende Theil des Dreiecks eine bloß imaginäre Bedeutung besitzt, auf eine Willkürlichkeit dieser Construction und also auch der Ableitung aller Lichtarten aus drei Grundfarben hin. In der That, nimmt man, wie es schon bei den drei besprochenen Grundfarben geschehen ist, bloß auf den Farbenton, nicht auf den Farbengrad Rücksicht, so lassen sich auch noch aus andern als den drei angegebenen Farben Weiß, Purpur und die übrigen Farbentöne herstellen. So geben z. B. Roth, Grün und Blau oder Orange, Grün und Violett, oder, wie es in Fig. 184 durch das Dreieck $R_1\,Gb_1\,B_1$ angedeutet ist, Roth, Gelb und Blau, oder überhaupt je drei oder mehr Farben, welche, wenn man sie durch gerade Linien verbindet, den Raum RGV umschließen, alle möglichen Farbenempfindungen. Selbst die im Spektrum nicht vorkommende zusammengesetzte Farbe, das Purpur, würde als eine solche imaginäre Grundfarbe angenommen werden können, indem sich z. B. aus Purpur, Gelb und Blau ein Farbendreieck $P_2\,Gb_2\,B_2$ construiren lässt. Aber in diesen Fällen sind, so lange man sich auf drei Componenten beschränkt, die meisten Mischfarben noch weißlicher als bei der Wahl von Roth, Grün und Violett, wie sich daran zeigt, dass dann jedesmal der imaginäre Theil des Farbendreiecks größer wird als der des Dreiecks RG_1V. Die drei angegebenen Grundfarben zeichnen sich also dadurch aus, dass durch sie nicht nur überhaupt alle möglichen Farbentöne, sondern diese auch in relativ größerer Sättigung hervorgebracht werden können als bei Benutzung anderer Combinationen. Die Combination Roth, Grün und Blau nähert sich dieser Bedingung ebenfalls, da Blau und Roth bei bedeutendem Uebergewicht der ersteren Farbe indigblaue und violette Farbentöne von ziemlich vollkommener Sättigung ergeben. Indem man von der Vermuthung ausging, die Grundfarben seien zugleich Hauptfarben in dem oben (S. 145) angegebenen Sinne, hat man daher häufig bei der Construction der Farbentafel den Componenten Roth, Grün und Blau den Vorzug gegeben[1]. Die Versuche über Mischung

---

[1] So besonders MAXWELL, Philos. Transactions, vol. 150, 1860, p. 57. Philos. Mag., 4, vol. 21, 1860, p. 141.

der Spektralfarben scheinen jedoch für die zuerst von THOMAS YOUNG aufgestellte Verbindung Roth, Grün und Violett zu sprechen[1]. Offenbar kommt hierbei in Betracht, dass Roth und Violett die Endfarben des Spektrums sind, und dass sie in diesem selbst gegenüber den andern Farben durch intensive Sättigung sich auszeichnen.

Hiernach kommt der Construction der Farbenempfindungen aus den drei Grundfarben überhaupt nur ein Annäherungswerth zu. HELMHOLTZ hat nun, einer Hypothese THOMAS YOUNGs folgend, den angegebenen drei Grundfarben eine absolute Bedeutung dadurch zu wahren gesucht, dass er sie als Grundempfindungen auffasste, die an und für sich nicht nothwendig mit Farben des Spektrums zusammenfallen müssten, sondern sich in ihrer Sättigung von denselben möglicher Weise unterscheiden könnten. Nimmt man an, dass es drei solche Grundempfindungen gibt, die dem Roth, Grün und Violett entsprechen, aber gesättigter sind als die mit diesen Namen belegten Spektralfarben, so lässt sich dann das Dreieck RG_1V (Fig. 184) als eine Tafel der reinen Farbenempfindungen betrachten, aus denen die realen Farben, die auf der Curve RGV liegen, immer erst durch Mischung hervorgehen. Nimmt man an, jede Spektralfarbe errege alle drei Grundempfindungen, nur je nach der Wellenlänge in verschiedenem Grade, so würde kein Grenzpunkt der ersten Tafel mit einem solchen der zweiten sich berühren, sondern zwischen jeder einfachen Farbe und der entsprechenden Grundempfindung würde noch ein Zwischenraum gesättigterer Farbentöne vorhanden sein[2]. Inwieweit dies auch für die beiden Endfarben des Spektrums, Roth und Violett, zutrifft, bleibt übrigens dahingestellt. Am Anfang und Ende der Farbencurve gleicht nämlich, wie MAXWELL und J. J. MÜLLER fanden, die Mischfarbe der zwischenliegenden Spektralfarbe auch in ihrem Sättigungsgrade, und es stützt sich hier die Annahme von Grundempfindungen, die jenseits der wirklichen Farben R, V, also in den abwärts gerichteten Verlängerungen der beiden Dreiecksseiten GR und GV liegen, nur auf die Wahrnehmung, dass die Empfindungen des spektralen Roth und Violett noch einigermaßen in ihrem Farbengrad variiren können. So erscheint dieser z. B. größer, wenn zuvor eine contrastirende Farbe (Grün vor Roth, Gelb vor Violett) eingewirkt hat. Da aber, wie oben bemerkt, die Construction des Farbendreiecks eine willkürliche ist, insofern auch aus andern als den genannten drei Componenten alle Lichtempfindungen ihren Qualitäten nach erzeugt werden können, so ist sie an und für sich nur ein anschaulicher

[1] J. J. MÜLLER, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 15, 2, 1869, S. 248.

[2] Nach dieser Voraussetzung ist in der That von KÖNIG und DIETERICI (Berliner Sitzungsber. 29. Juli 1886) und von HELMHOLTZ (Physiol. Optik², Fig. 139, S. 340) die Farbentafel in die hypothetische Tafel der Grundempfindungen eingetragen worden.

Ausdruck für das Mischungsgesetz der Farben, aus welchem irgend welche theoretische Folgerungen unmittelbar noch nicht gezogen werden dürfen. Nach jenem Gesetz erzeugen nämlich: 1) Wellenlängen, die wenig von einander verschieden sind, mit einander gemischt Empfindungen, die zwischenliegenden Wellenlängen entsprechen, und 2) Wellenlängen, die sich in größerer Distanz befinden, namentlich solche, von denen die eine rechts und die andere links von einem mittleren Orte *G* des Spektrums liegt, weißliche Farbentöne oder Weiß, falls nicht die Endfarben des Spektrums selbst gemischt werden. Unter der Voraussetzung, dass gleichen Empfindungen gleiche physische Processe zu Grunde liegen, weist der erste dieser Sätze auf eine Abhängigkeit des Reizungsvorganges von der Lichtbewegung hin, nach welcher der aus zwei wenig verschiedenen Wellenlängen resultirende Process identisch ist mit demjenigen, den die Reizung mit Wellen von der zwischenliegenden Größe erzeugt. Zugleich ist die hierbei mögliche Differenz für die längsten und kürzesten Wellen größer als für solche von mittlerer Länge. Hiernach lässt sich der obige zweite Satz des Mischungsgesetzes einfach auch so ausdrücken: Für jeden Theil der Farbencurve gibt es einen gewissen Grenzwerth des Farbenunterschieds, über den hinaus die resultirende Farbe einen verminderten Farbengrad zeigt, und diese Abnahme der Sättigung wächst zuerst bis zu einem Maximum, dem vollständigen Weiß (der Complementärfarbe entsprechend), um sich dann wieder in entgegengesetzter Richtung zu ändern, wodurch sich die Farbencurve als eine in sich zurücklaufende kundgibt. Letztere Thatsache findet überdies ihren Ausdruck in der unmittelbaren Empfindung, nach der die Anfangs- und Endfarbe des Spektrums wieder einander ähnlich werden und mit einander gemischt eine zwischen ihnen liegende gesättigte Farbe bilden (das Purpur), woraus zu schließen ist, dass auch die begleitenden physischen Vorgänge von verwandter Beschaffenheit sind.

Demnach können wir uns den Gang der Function, die in dem Mischungsgesetze zum Ausdruck gelangt, folgendermaßen veranschaulichen. Wir denken uns den Punkt *W* der Farbentafel (Fig. 184) als Mittelpunkt eines Polarcoordinatensystems, denken uns also von diesem Punkte Radien nach allen möglichen Stellen der Farbencurve gezogen und die Winkel, die dieselben mit einander bilden, vom Radius *WR* an gezählt, so dass deren positive Werthe in der Richtung des Verlaufs der spektralen Farbencurve wachsen. Die Zunahme des Polarwinkels soll der Abnahme der Wellenlänge von der Grenze des äußersten Roth ab entsprechen. Da die den kürzesten Wellenlängen zugehörigen Empfindungen des Violett sich wieder der Empfindungsgrenze der größten Wellenlänge nähern, so muss die Curve in der Gegend der Mitte des Spektrums einen Wende-

punkt haben, und nach dem Mischungsgesetz für die Wellenlängen von Roth bis Gelbgrün und von Grünblau bis Violett müssen die beiden Schenkel der Curve innerhalb gewisser Grenzen einen nahehin geradlinigen Verlauf nehmen. Die so gewonnene Curve besitzt, wenn man sie unmittelbar auf die Farben des Spektrums bezieht, die Gestalt der Farbenlinie in Fig. 184. Die nach unten zwischen den Radien *WR* und *WV* gelegenen Winkelwerthe können entweder als solche, welche die obere Empfindungsgrenze überschreiten, oder als solche, welche die untere nicht erreichen, betrachtet werden: die hier liegenden Empfindungen entstehen aber nicht mehr durch einfache ultrarothe oder ultraviolette Wellenlängen, sondern nur durch Mischung rother und violetter Strahlen; durch sie wird dann die Curve der einfachen Farbenempfindungen eine in sich geschlossene. Mit diesem in dem Zurücklaufen der Farbenlinie begründeten Gang der Function stehen nun auch die weiteren Mischungserscheinungen, die hauptsächlich in der Existenz der Complementärfarbenpaare ihren Ausdruck finden, in Verbindung. Nicht gesättigt ist vermöge der Form der Farbencurve immer die Empfindung, die aus der Mischung solcher Farben hervorgeht, zwischen denen die Curve nicht geradlinig verläuft. Da nun die ganze Curve in sich geschlossen ist, so muss es für jeden Punkt der Farbenlinie einen zweiten Punkt geben, bei dem die Sättigung der Mischfarbe auf ein Minimum sinkt, um bei weiterem Fortschritt sich wieder in entgegengesetztem Sinne zu ändern. Dieses Minimum der Sättigung oder die Empfindung Weiß ist für zwei Punkte dann vorhanden, wenn der zwischen ihnen liegende Theil der Curve das Maximum der Richtungsänderung erreicht hat, d. h. wenn die von *W* aus gezogenen Radiusvectoren mit einander einen Winkel von 180° bilden.

Natürlich können nun die wesentlichen Eigenthümlichkeiten dieses Gangs der Function der Lichtempfindungen in ihren Beziehungen zu den Lichtreizen, namentlich die in sich zurücklaufende Gestalt der Farbencurve und die diametral entgegengesetzte Lage der Complementärfarben, auch dann erhalten bleiben, wenn man die Voraussetzungen über die Qualitäten der einfachen Farbencomponenten irgendwie ändert. So z. B. wenn jenseits des realen Spektrums noch gesättigtere Grundempfindungen angenommen werden, um, wie oben erwähnt, gewissen subjectiven Phänomenen der Farbenwirkung Ausdruck zu geben (S. 153). Wohl mit größerem Rechte noch fordert aber eine andere Erwägung zu abweichenden Constructionen des Farbensystems auf, die an sich dann eine analoge Bedeutung haben wie die dem Dreieck sich nähernde Farbentafel *BGV* in Fig. 184. Die Spektralfarben, auf die sich die Construction dieser Tafel gründet, sind nämlich, eine so große Wichtigkeit sie, als die Farben höchsten Farbengrades, die wir objectiv herstellen können, praktisch

für uns besitzen, doch bis zu einem gewissen Grade willkürlich gewählte letzte Einheiten. Dies spricht sich schon darin aus, dass wir jeder Farbe neben ihrem Farbenton auch eine bestimmte, innerhalb bestimmter Grenzen für sich variirbare Helligkeit zuschreiben. Mehr noch als der bei der Annahme imaginärer Grundempfindungen obwaltende Gesichtspunkt, dass die Farbentöne selbst in ihrer subjectiven Wirkung einigermaßen veränderlich sind, dürfte daher zu erwägen sein, dass eben wegen dieser Verbindung von Farbenton und Helligkeit die unmittelbar im Spektrum gegebenen Farben weder subjectiv noch objectiv die Eigenschaften haben, die für eine exact vergleichbare Reizmessung erforderlich sind. Denn subjectiv verändert sich im Spektrum von einer Farbe zur andern mit dem Farbenton auch die Helligkeit. Für die Herstellung einer die Verhältnisse des Farbentons rein zum Ausdruck bringenden Farbentafel würde es daher nothwendig sein, ebenso wie dies für die Bestimmung der Unterschiedsempfindlichkeit zu geschehen pflegt, alle Spektralfarben auf gleiche Helligkeitsgrade zu beziehen. Zwei complementäre Strahlen, wie G' und V (Fig. 184) sind z. B. im Spektrum von sehr abweichender Helligkeit. Damit bloß die Unterschiede ihres Farbentones wirkten, müsste man also die Helligkeit von G' bis zur Gleichheit mit V vermindern. Noch sind zureichende Versuche zur Bestimmung der unter dieser Voraussetzung sich ergebenden Veränderungen der spektralen Farbencurve nicht angestellt. Doch scheint es nach verschiedenen, von GLAN ausgeführten Messungen und Berechnungen, dass die complementären Lichtmengen, die sich zu Weiß zusammensetzen, nach der Reduction auf gleiche Helligkeit auf der Macula lutea für sämmtliche Farben des Spektrums die gleichen sind: die relativen Werthe schwankten zwischen 12,19 der weniger brechbaren und 12,27 der brechbarsten Strahlen[1]. Daraus würde sich ergeben, dass die das Mischungsgesetz ausdrückende Farbenfläche, nach möglichster Ausschaltung der die reine Farbenwirkung complicirenden Helligkeitsunterschiede, und abgesehen von der unbestimmt bleibenden Lücke zwischen der Anfangs- und Endfarbe, einer Kreisfläche nahe kommt. Die zunächst den subjectiven Verhältnissen der einfachen Farbenempfindungen entnommene Darstellung des Farbenkreises oder eine ihr angenäherte scheint also unter dieser Bedingung zugleich ein adäquater

[1] P. GLAN, PFLÜGERS Archiv, Bd. 39, 1886, S. 53 ff. WIEDEMANNS Annalen, Bd. 48, 1893, S. 307 ff. GLAN hat dabei allerdings auch noch die verschiedenen Absorptionscoëfficienten der brechenden Medien und des Pigments im gelben Fleck in Rechnung gebracht, wodurch, wie mir scheint, den allein subjectiv auszuführenden Helligkeitsbestimmungen ein nicht adäquater objectiver Factor hinzugefügt wird. Eine Behandlung des Problems unter ausschließlicher Berücksichtigung des Helligkeitseindrucks würde daher, ebenso wie die Ausdehnung der Untersuchung auf die Seitentheile der Netzhaut, wünschenswerth sein.

Ausdruck der objectiven Beziehungen der Farben zu einander und ihrer Uebergänge in Weiß zu sein. Darin gibt sich nochmals die Darstellung des Farbensystems in einem Dreieck oder in einer sich diesem annähernden Form, wie Fig. 184, als eine willkürliche zu erkennen, die, abgesehen von dem allgemeinen Princip additiver Verknüpfung stetig veränderlicher Größen, auf das sie sich mit allen diesen symbolischen Darstellungen des Farbensystems stützt, ihre Grundlage schließlich nur darin findet, dass das Dreieck neben dem Kreis die einfachste eine Fläche umschließende geometrische Form ist[1]. Dieser Dreiecksconstruction müssen sich dann aber naturgemäß wiederum alle einzelnen Elemente des Empfindungssystems am einfachsten einordnen, wenn man die beiden Endfarben des Spektrums, Roth und Violett, zu symmetrisch sich gegenüberliegenden Eckpunkten des Dreiecks wählt, wodurch sich als dritter Eckpunkt die mittlere Farbe des Spektrums, das Grün, von selbst ergibt. Die Existenz der drei Grundfarben, d. h. die Möglichkeit, aus der Anfangs-, End- und Mittelfarbe alle Farbenempfindungen samt ihren Uebergängen zu Weiß zusammenzusetzen, findet daher einerseits in der in sich zurücklaufenden Gestalt der Farbenlinie und anderseits in den Verhältnissen der Complementärfarben ihre vollkommen zureichende Erklärung.

Statt des Mischungsgesetzes könnte man nun aber der Construction der Farbenfläche, gerade im Hinblick auf diese Beziehungen zum Farbenkreis, auch noch ein anderes Verhältniss zu Grunde legen, das der Construction der Farbenlinie nach Graden der Unterschiedsempfindlichkeit entspräche (S. 143). Es ließen sich nämlich die Abmessungen der Farbenflächen nach der Unterschiedsempfindlichkeit für Farbengrade ausführen. Eine Farbe, die eine größere Zahl von Abstufungen durchläuft, bis sie in Weiß übergeht, würde dann in größere Entfernung von dem Punkte der Farbentafel, der dem Weiß entspricht, zu verlegen sein. Solche Messungen der Unterschiedsempfindlichkeit für Sättigungsstufen sind jedoch bis jetzt nur in unzulänglicher Weise ausgeführt. So fand Woinow[2] bei der Mischung mit Weiß die Unterschiedsschwelle für

Roth	Orange	Blau
$^1/_{120}$	$^1/_{144}$	$^1/_{160}$

Diese Bestimmungen, die mittelst rotirender Scheiben gemacht wurden, zeigen, was auch bei den Farbenmischungsversuchen zur Geltung kommt, dass die brechbareren Farben einen größeren Sättigungswerth besitzen, d. h. dass verhältnissmäßig kleine Mengen derselben in Mischungen mit

[1] Ueber das erwähnte Princip vgl. H. Grassmann, Die Ausdehnungslehre von 1844[2]. 1878, S. XXVI, 39 ff.

[2] Archiv für Ophthalmologie, Bd. 16, 1, 1870, S. 256.

Weiß oder mit einer andern Farbe schon wirksam sind, eine Thatsache, die sich in der Mischungscurve (Fig. 184) in der relativ weiten Entfernung des Punktes *V* von *W* ausspricht. Indem nun dieser Uebergang der Farbenempfindungen in Weiß auch bei der Mischung zweier complementärer Farben stattfindet, bemerkt man aber hierbei neben der Verminderung des Farbengrades stets zugleich eine Zunahme der Helligkeit. Das Weiß selbst erscheint daher gegenüber allen unter gleichen äußeren Bedingungen entstehenden Farben und Farbengraden als die hellste Empfindung. Darum lassen sich die verschiedenen Helligkeitsgrade irgend welcher Farben am einfachsten durch directe Vergleichung mit einem Weiß von constanter Helligkeit, also z. B. mit dem Weiß des Tageslichtes, bestimmen. Nach diesem Princip verglich schon FRAUNHOFER die relativen Helligkeiten der einzelnen Farben des Spektrums, indem er die Helligkeit des von einem kleinen Spiegel reflectirten gemischten farblosen Sonnenlichtes so lange abschwächte, bis sie derjenigen der einzelnen Spektralfarbe gleich erschien[1]. Auf indirecte Weise suchte VIERORDT das nämliche dadurch zu erreichen, dass er die Quantität weißen Lichtes bestimmte, die jeder Spektralfarbe zugefügt werden muss, um eine minimale Aenderung ihrer Sättigung zu erzielen; er ging dabei von der Voraussetzung aus, dass diese Quantität um so größer sein werde, je größer die Helligkeit der Farbe sei[2]. In der That stimmen die so erhaltenen Zahlen mit den von FRAUNHOFER gewonnenen ziemlich nahe überein. Setzt man die hellste Farbe des Spektrums, das Gelb zwischen den Linien *D* und *E*, = 1000, so fanden sich für die übrigen bei der Benutzung von Sonnenlicht als farbloser Lichtquelle folgende Werthe:

		FRAUNHOFER	VIERORDT			FRAUNHOFER	VIERORDT
Roth	(*B*)	32	22	Grün	(*E*)	480	370
Orange	(*C*)	94	128	Blaugrün	(*F*)	170	128
Röthlichgelb	(*D*)	640	780	Blau	(*G*)	31	8
Gelb	(*D*—*E*)	1000	1000	Violett	(*H*)	5,6	0.7

Wechselnder verhalten sich je nach ihrer Sättigung Pigmentfarben, bei denen sich eine Bestimmung des relativen Helligkeitswerthes durch die Vergleichung am Farbenkreisel vornehmen lässt, indem man zu einer gegebenen Farbe diejenige Mischung von Weiß und Schwarz herstellt, die der Farbe an Helligkeit gleicht. Die so vorgenommenen Vergleichungen ergeben bei größter Sättigung und gewöhnlicher Tagesbeleuchtung im allgemeinen eine mit der vorstehenden übereinstimmende Hellig-

[1] FRAUNHOFER, Denkschriften der bayr. Akad. d. Wissensch. 1815, S. 193.
[2] VIERORDT, Die Anwendung des Spektralapparats zur Messung und Vergleichung der Stärke des farbigen Lichtes. 1871.

keitsreihe[1]. Vergleicht man die obigen Zahlen mit der Lage der Farben auf der Mischungscurve der Spektralfarben (Fig. 184), so ist übrigens wiederum ersichtlich, dass sich dieselben umgekehrt verhalten wie die Entfernungen vom Punkte des Weiß; d. h. je gesättigter eine Farbe ist, eine um so geringere Helligkeit besitzt sie, und um so größer ist die Wirkung, die eine bestimmte Menge derselben in der Mischung mit andern Farben hervorbringt. Geht man dagegen immer von dem nämlichen subjectiven Empfindungswerth aus, z. B. von derjenigen Intensität, bei der eben ein Erkennen der Farbe möglich ist, so scheint die Unterschiedsempfindlichkeit für den Helligkeitswechsel bei allen gesättigten Farben eine übereinstimmende zu sein[2].

Bei allen Erscheinungen, bei denen ein Uebergang einer Farbenempfindung durch ihre abnehmenden Farbengrade oder Sättigungsstufen in Weiß zu beobachten ist, verhält sich hiernach das Weiß subjectiv durchaus den Farben analog. Es nimmt nicht nur innerhalb einer jeden Reihe von Farbengraden eine bestimmte, und zwar maximale Helligkeitsstufe ein, sondern es tritt selbst als eine bestimmte, dem Farbenton bei den eigentlichen Farben entsprechende Qualität auf. Das nämliche gilt auch für das Schwarz oder für irgend eine dem Schwarz sich nähernde Stufe des Grau, die man durch Mischung von Weiß und Schwarz erhalten kann. Nur sind hierbei die Helligkeitsverhältnisse die umgekehrten wie beim Weiß: während der Farbengrad beim Uebergang einer Farbe in Schwarz gerade so abnimmt wie bei dem in Weiß, vermindert sich unter sonst gleich bleibenden Bedingungen der äußeren Beleuchtung die Helligkeit. Diese Erscheinungen zu- und abnehmender Helligkeit der Farben und der farblosen Empfindungen hängen nun aber bereits mit der dritten, neben Farbenton und Farbengrad fundamentalen Eigenschaft der Lichtempfindungen zusammen: mit der Intensität.

c. Stärke der Lichtempfindung.

Die Stärke der Lichtempfindung darf innerhalb gewisser Grenzen als ein von Farbenton und Farbengrad unabhängiger Bestandtheil angesehen werden, da eine nach Farbe und Sättigungsgrad bestimmte Empfindung verschiedene Grade der Stärke besitzen kann. Zwar werden wir

[1] KIRSCHMANN, Philos. Stud. Bd. 6, 1891, S. 462 ff. GÖTZ MARTIUS, Beiträge zur Psychologie und Physiologie, Heft 1, 1896, S. 95 ff. Bei der von KIRSCHMANN angewandten Methode bestand die Probe auf die Richtigkeit der gefundenen Helligkeitswerthe der Pigmentfarben darin, dass das einer gegebenen Farbe gleichende Grau der Farbe beigemischt keine Helligkeitsänderung erzeugen durfte. Das Verfahren von GÖTZ MARTIUS bestand darin, dass er eine am Farbenkreisel von einem farbigen Ring umschlossene Fläche variirbaren Graus fixirte und dann beide Helligkeiten auf gleich einstellte.

[2] CHARPENTIER, Comptes rend. 26 Mai 1884, Nr. 79, p. 971.

sogleich sehen, dass dieser Satz wesentliche Einschränkungen erfährt. Betrachten wir aber vorläufig die Intensität der Empfindung hier, wie in anderen Sinnesgebieten, als eine unabhängig veränderliche Größe, so lässt sich dieselbe dem nach zwei Dimensionen construirten Continuum der Farben als dritte hinzufügen. Beschränkt man sich auf die unser gewöhnliches Empfindungssystem vollständig darstellende ebene Farbentafel, wie sie nach der Abstufung der Farben in Ton und Sättigung oder nach dem Mischungsgesetze construirt werden kann, so lässt sich demnach der einer jeden Lichtqualität zukommende Grad der Intensität als eine der Farbentafel an der betreffenden Stelle aufgesetzte senkrechte Linie darstellen. Nehmen wir die einfachste Form, den Kreis, und beginnen wir mit dem das Weiß bezeichnenden Mittelpunkt (Fig. 182, S. 143), so wird also die hier aufgesetzte Senkrechte alle Stufen des Weiß durch Grau bis zum Schwarz andeuten. Wollte man ein Maßprincip zu Grunde legen, so würde man wieder die minimalen Unterschiede als Maßeinheiten betrachten können. Die in dieser Beziehung für die Stärke des weißen Lichtes sowohl wie der einzelnen Farben gefundenen Werthe sind schon bei der Erörterung der Intensität der Empfindung (Cap. IX, Bd. 1, S. 527 ff.) angeführt worden. Nach den dort mitgetheilten Zahlen ist die Unterschiedsempfindlichkeit für die Lichtintensität im Roth am kleinsten ($^1/_{48.5}$); sie nimmt dann bis zum Blau zu ($^1/_{53.5}$) und gegen das Violett wieder ab, während sich dagegen die Reizschwelle mit der Abnahme der Wellenlänge stetig (von 0,06 bis auf 0,00012) vermindert.

Versucht man es nun aber, demgemäß die Intensitätsgrade aller Farben und ihrer Mischungen als eine der Farbenfläche hinzugefügte Höhendimension zu behandeln, so stellt sich heraus, dass diese Construction nicht für jede Qualität unabhängig durchgeführt werden kann. Die Empfindung Roth z. B. wird bei Abschwächung der Lichtintensität nicht bloß in ihrer Stärke, sondern immer zugleich in ihrem Farbenton und in ihrer Sättigung vermindert, bis sie endlich in Schwarz, also in dieselbe Empfindung übergeht, die der geringsten Intensität des weißen Lichtes entspricht. Das nämliche zeigt sich bei allen andern Farbenempfindungen. Diese Unterschiede werden uns unten bei den Erscheinungen der Adaptation der Netzhaut (d) näher beschäftigen. Abstrahiren wir einstweilen von ihnen, so lässt sich aber offenbar, wenn man die oben für Farbenton und Farbengrad benutzte geometrische Symbolik fortführt, die Lichtstärke als eine dritte Dimension dieses Empfindungssystems jenen beiden hinzufügen. Das ganze System der Lichtempfindungen kann dann, falls man wieder den Kreis als Farbenfläche benutzt, durch einen Kegel mit kreisförmiger Basis hergestellt werden, dessen Spitze dem Schwarz entspricht. In den einzelnen parallel zur Basis geführten Schnitten folgen dann von unten

nach oben die lichtschwächeren Farben und in der Mitte das Grau in stetiger Abstufung. In analoger Weise lassen sich aber auch diejenigen Veränderungen veranschaulichen, welche die Lichtempfindung erfährt, wenn die Lichtstärke vermehrt wird. Die Beobachtung zeigt nämlich, dass es eine bestimmte Lichtstärke gibt, bei der die Sättigung der einfachen Farben des prismatischen Spektrums am größten ist. Die dem Maximum der Farbenempfindung zukommende Intensität, die wahrscheinlich wieder nicht für alle Farben die gleiche ist, wurde bis jetzt noch nicht näher bestimmt. Fest steht jedoch, dass sich von ihr ausgehend der Farbengrad nicht nur durch Abnahme, sondern auch durch Zunahme der Lichtstärke vermindern kann. Wie im ersten Fall schließlich alle Farben in Schwarz übergehen, so nähern sie sich aber im zweiten dem Weiß. Lässt man z. B. die Lichtstärke des Spektrums allmählich wachsen, indem man den Spalt für den auf das Prisma gelenkten Lichtstrahl (Fig. 181, S. 141) stetig erweitert, so breiten sich Gelb und Blau nach beiden Seiten aus, und es gehen mit zunehmender Intensität zunächst Roth, Orange und Grün in Gelb, dagegen Grünblau und Violett in weißliches Blau über, worauf dann zuerst das Blau und zuletzt das Gelb sich in Weiß umwandelt. Nun sind diese Veränderungen theilweise freilich durch die Uebereinanderlagerung von Licht verschiedener Wellenlänge, also durch die Farbenmischung bedingt, die mit der zum Behuf der Vermehrung der Lichtstärke angewandten Verbreiterung des Spaltes für das in das Prisma eintretende Licht verbunden ist. Immerhin beruht ein wesentlicher Theil der eintretenden Verminderung des Farbengrades wahrscheinlich auch auf der Zunahme der Lichtstärke[1]. Denken wir uns demnach, der Farbenkreis stelle das System der Farbenempfindungen bei den dem Maximum der Sättigung entsprechenden Lichtstärken dar, so wird der dem Schwarz correspondirenden Spitze, in der bei sehr verminderter Lichtstärke alle Empfindungen zusammenlaufen, auf der andern Seite der Kreisfläche eine dem intensivsten Weiß entsprechende Spitze gegenüberliegen, wo sich bei einer aufs höchste gesteigerten Lichtstärke schließlich alle Empfindungen vereinigen würden. Das ganze System der Lichtempfindungen kann also durch einen Doppelkegel mit einer beiden Kegelhälften gemeinsamen Basis dargestellt werden, wobei der diese Basis begrenzende Kreis die Farben der größten Sättigung enthält. Statt des Doppelkegels kann man auch eine Doppelpyramide oder, als einfachste Form, eine Kugel wählen, in deren Aequatorialebene die Farben der

[1] An einer ohne diese Fehlerquelle ausgeführten Untersuchung der Lichtverstärkung des Sonnenspektrums fehlt es leider noch. Auch ist sie begreiflicher Weise, wenn überhaupt ausführbar, mit sehr viel größeren Schwierigkeiten verbunden als die umgekehrte Intensitätsänderung.

größten Sättigung und die daraus durch Mischung herstellbaren Farbenstufen liegen, während der eine Pol dem absoluten Weiß, der andere dem absoluten Schwarz entspricht, wenn wir unter diesen Bezeichnungen diejenigen Empfindungen verstehen, die durch weitere Vermehrung oder Verminderung der Lichtstärke nicht mehr verändert werden können (Fig. 185). Auf der die beiden Pole verbindenden Linie befinden sich dann die farblosen Lichtarten vom absoluten Weiß bis zum absoluten Schwarz in stetigen Abstufungen[1].

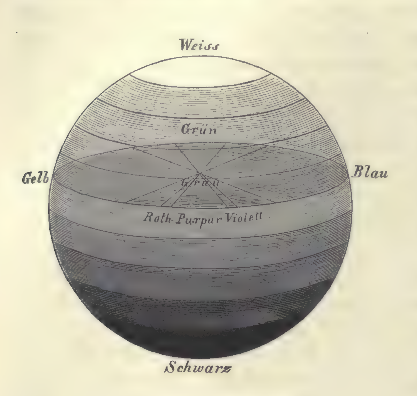


Fig. 185. Farbenkugel.

Indem in eine solche geometrische Darstellung des gesammten Systems der Lichtempfindungen die durch die Variationen der Stärke des farblosen Lichtes verursachten Abstufungen zwischen Weiß und Schwarz als eine den Veränderungen des Farbentones und des Farbengrades analoge dritte Dimension mit eingehen, kommt nun aber hierin zugleich eine dem Empfindungssystem des Gesichtssinns durchaus eigenthümliche Erscheinung zum Ausdruck. Sie besteht darin, dass wir das Weiß und Schwarz sowie die zwischen beiden gelegenen, im allgemeinen unter dem Namen des Grau zusammengefassten Uebergänge nicht bloß als Intensitätsgrade, sondern zugleich als qualitative Unterschiede, und zwar Weiß und Schwarz als Gegensätze empfinden, ja dass uns diese Auffassung bei der Betrachtung schwarzer und weißer Pigmente die näher liegende scheint. Aus dieser That-

---

[1] Um bei der Construction des Farbensystems zugleich die Lichtstärken zu berücksichtigen, fügte zuerst LAMBERT der gewöhnlichen Farbentafel die dritte Dimension hinzu und construirte so eine Farbenpyramide, in deren Spitze er das Schwarz verlegte. (LAMBERT, Beschreibung einer mit dem CALAU'schen Wachse ausgemalten Farbenpyramide. 1772.) Diese Construction fußt auf dem Uebergang aller Farbenempfindungen in Schwarz bei verminderter Lichtstärke. Die Construction in einer Kugel, die den Uebergang in Weiß und in Schwarz gleichzeitig darstellt, ist zuerst von dem Maler PHILIPP OTTO RUNGE ausgeführt worden. (Die Farbenkugel oder Construction des Verhältnisses aller Mischungen der Farben zu einander. 1810.) Auch die Construction einer Doppelpyramide der Farben hat derselbe angedeutet. (Ebend. S. 8.) CHEVREUL (Exposé d'un moyen de définir et de nommer les couleurs. 1861. Atlas) theilt zehn Farbencirkel mit, in denen sehr schön die Uebergänge der gesättigten Farben zu Schwarz dargestellt sind. Eine besondere Figur (Tafel II) gibt für eine Farbe, das Blau, in 20 Abstufungen die Uebergänge einerseits in Schwarz und anderseits in Weiß. Alle diese Arbeiten verfolgen übrigens hauptsächlich künstlerische Interessen.

sache sind offenbar alle diejenigen Lichttheorien von ARISTOTELES bis auf GOETHE hervorgegangen, die aus Schwarz und Weiß alle Lichtarten entstehen lassen wollten: sie übertrugen eine subjective Wahrnehmung auf den objectiven Vorgang. Ist dies auch ungerechtfertigt, so fordert nun immerhin die unleugbare Thatsache jener qualitativen Auffassung eine Erklärung. Die Beziehung auf helle und dunkle Objecte mag begünstigend auf die Fixirung der Unterschiede gewirkt haben. Sie reicht jedoch nicht aus, um deren Entstehung begreiflich zu machen, da wir das Schwarz auch dem dunkeln Gesichtsfeld bei Ausschluss aller Objecte zuschreiben. Wohl aber scheint diese Beobachtung darauf hinzuweisen, dass das Schwarz aus irgend einem von allen äußeren Lichterregungen verschiedenen inneren Erregungszustand der Netzhaut hervorgeht, der die Eigenschaft haben muss, nicht nur jene äußeren Erregungen in größerer oder geringerer Stärke zu begleiten, sondern auch anzudauern, nachdem sie verschwunden sind. Die Frage, wie ein derartiger Vorgang zu deuten sei, wird erst die Theorie der Lichtempfindungen zu beantworten haben (vgl. unten h und i). Immerhin werden wir vorläufig von der Voraussetzung eines solchen, der Empfindung des Dunkeln entsprechenden inneren Erregungszustandes als der einfachsten Gebrauch machen können. Denn sie schließt keinerlei Hypothesen über die Natur dieses Zustandes in sich, während sie doch im allgemeinen darüber Rechenschaft gibt, dass das Schwarz zu der als Weiß empfundenen Lichterregung die mannigfachsten Uebergänge darbietet, und dass wir jede Intensitätsänderung des Lichtes zugleich als eine Qualitätsänderung auffassen, da eben nach ihr der Wechsel der Empfindungen Schwarz und Weiß in der That neben der intensiven immer auch eine qualitative Reizänderung bedeutet[1].

Die Methoden zur Untersuchung der Lichtempfindungen nach ihren drei bis dahin erörterten Factoren, Farbenton, Farbengrad und Lichtstärke, schließen sich eng an die physikalischen Methoden der Zerlegung und Mischung der Lichtwellen an. Zur Gewinnung von Farbeneindrücken von spektraler Sättigung bedient man sich, wie schon erwähnt, am zweckmäßigsten der Farbenzerstreuung durch Prismen. Beugungsspektren sind dazu wegen der minder vollkommenen Isolirung der einzelnen Strahlengattungen weniger geeignet. Zur Gewinnung eines reinen Spektrums, in dem die einzelnen Wellenlängen möglichst von einander gesondert sind, und zur Abstufung der Helligkeitsgrade sind aber noch verschiedene Hülfsvorrichtungen erforderlich. Die Fig. 186 zeigt in schematischer Darstellung eine zu den verschiedensten Zwecken,

[1] Hiernach ist es selbstverständlich nicht zulässig, jene Dauererregung des dunkeln Gesichtsfeldes, die der Empfindung Schwarz entspricht, mit dem Lichtstaub desselben und andern subjectiven Lichtphänomenen, die man im Dunkeln beobachtet, zusammenzuwerfen, wie dies zuweilen geschah. Diese Phänomene sind immer weiß oder farbig, und sie mischen sich, wie alle andern Lichterregungen, mit dem Schwarz des dunkeln Gesichtsfeldes.

sowohl für exacte Qualitäts- wie Intensitätsuntersuchungen, brauchbare Versuchsanordnung. Durch einen Spalt S_1 im Laden eines Dunkelzimmers lässt man das vom Spiegel eines Heliostaten reflectirte Sonnenlicht fallen. In kleiner Entfernung von S_1 befindet sich ein feinerer Spalt S_2, dessen Breite durch eine Mikrometerschraube zu variiren ist, unmittelbar vor ihm das zur Herstellung des Spektrums dienende große Flintglasprisma p. Dasselbe ist, um die zu einer bestimmten Versuchsanordnung erforderliche Stellung immer leicht wiederfinden zu können, um seine Längsachse drehbar auf einem getheilten Kreis befestigt. Vor dem Prisma ist eine große achromatische Linse L_1 von beträchtlicher Brennweite aufgestellt, in deren Brennpunkt sich der Schirm S_3 befindet, auf dem das Spektrum entworfen wird. Dieses besteht aus den einzelnen Farbenbildern des Spaltes S_2, die ohne Anwendung einer Linse zum Theil übereinandergreifen, durch die letztere aber schärfer gesondert werden. In dem Schirm S_3 sind verschiebbare Spaltvorrichtungen angebracht, die es gestatten, beliebige Strahlengattungen aus dem Spektrum durch den

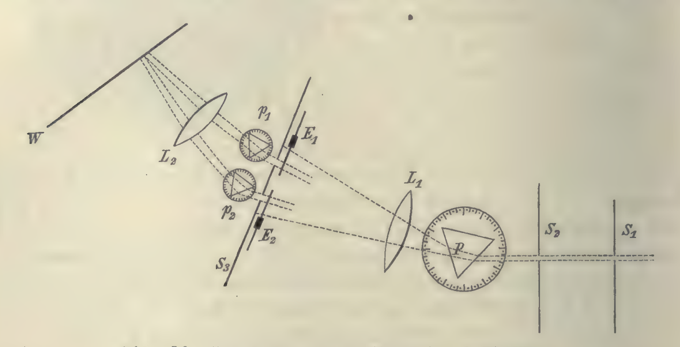


Fig. 186. Universalapparat für Spektraluntersuchungen.

Schirm hindurchzulassen. Sie werden dann zunächst durch kleine Crownglasprismen p_1, p_2 gebrochen, die wieder ähnlich wie p aufgestellt sind und an Kreistheilungen orientirt werden können. Diese Prismen sind dazu bestimmt, den zu untersuchenden Strahlen die geeignete Richtung zu geben, sie also z. B., wie in der Figur, auf einer Wand zum Behuf der genauen Vergleichung dicht neben einander (oder auch bei Benutzung über einander gelegener Spalten im Schirm S_3 über einander) aufzufangen, oder sie zu mischen. Will man die Lichtintensitäten variiren, so wird vor jedem der benutzten Spalte in S_3 ein Episkotister E_1, E_2 von der Bd. 1, Fig. 152, S. 524 beschriebenen Einrichtung angebracht. Die durch die Prismen p_1, p_2 gebrochenen Strahlen können entweder mittelst eines Fernrohrs betrachtet oder auf einer weißen Wand W aufgefangen und aus bequemer Sehweite mit freiem Auge beobachtet werden. Im letzteren Fall ist es zweckmäßig, zwischen den Prismen und der Wand nochmals eine Linse L_2 so aufzustellen, dass durch sie deutliche Bilder der Spalte S_3 auf W entworfen werden. Da Sonnenlicht bei unserem meist bewölkten nordischen Himmel leider oft nicht zur Verfügung steht, so

muss man zum Ersatz desselben eine künstliche Lichtquelle in Bereitschaft haben. Für viele Zwecke ist diese überdies vollkommen ausreichend; in andern Fällen kann sie wenigstens die mit Sonnenlicht vorzunehmenden Versuche vorbereiten. Man bedient sich dazu am besten eines im Vorraum des Dunkelzimmers jederzeit zum Ersatz der Sonne bereit stehenden elektrischen Bogenlichts, das entweder durch eine achromatische Linse oder durch ein ebenfalls annähernd achromatisches HUYGENS'sches System (zwei große centrirte und um den Betrag ihrer Brennweiten von einander entfernte Linsen) auf den Spalt S_1 concentrirt wird.

Will man in einer längeren Reihe von Versuchen auf die Anwendung von Sonnenlicht verzichten, so lässt sich eine feste Versuchsanordnung, die in allem Wesentlichen der in Fig. 186 abgebildeten entspricht, auch mittelst des Skioptikons, wie es zu Demonstrationszwecken gegenwärtig in den Laboratorien allgemein benutzt wird, herstellen. Man lässt das Skioptikon mit einer drehbaren optischen Bank versehen, auf der die verschiedenen Apparate aufgestellt werden können. Die Fig. 187 zeigt eine solche für Untersuchungs- wie besonders auch für Demonstrationszwecke sehr bequeme

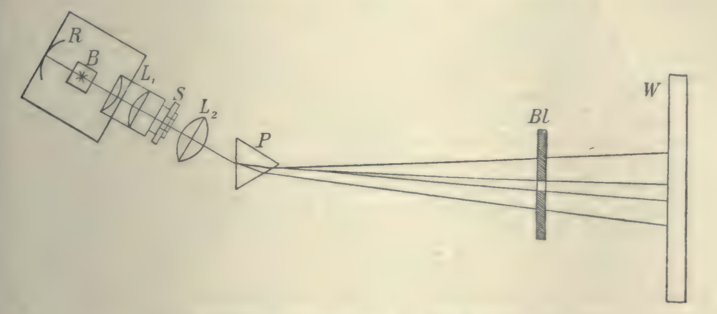


Fig. 187. Skioptikoneinrichtung zu Spektralversuchen.

Einrichtung in schematischem Umriss. Im Innern des Skioptikonkastens befindet sich die regulirbare Bogenlampe B, hinter ihr ein reflectirender weißer Schirm R. Vor dem Linsensystem L_1 des Skioptikons wird die mit einer Mikrometervorrichtung versehene Spaltvorrichtung S und vor dieser eine achromatische Linse L_2 angebracht, welche, ehe das Prisma P eingeschaltet ist, auf der auffangenden Fläche W ein lineares Bild des Spaltes entwirft: dann wird das Flintglasprisma P oder bei Demonstrationsversuchen wegen der größeren Dispersion der Strahlen ein mit Schwefelkohlenstoff gefülltes Glasprisma nahe hinter der Linse eingeschaltet. Objectiv lassen sich bei dieser Anordnung die Farbenmischungen sehr schön auf der Wand W ausführen, wenn man nach der von O. ZOTH[1] angewandten Methode eine Spaltvorrichtung mit zwei Spalten s_1 und s_2 (Fig. 188 A) benutzt, die in einer etwas

[1] O. ZOTH, PFLÜGERS Archiv, Bd. 70, 1898, S. 1 ff.

verschiedenen Höhe angebracht und mittelst einer Mikrometerschraube verschiebbar sind. Man erhält so zwei Spektren Sp_1 und Sp_2, die in der in Fig. 188 *B* dargestellten Weise über einander greifen, und aus denen mittelst einer zwischen Prisma und Auffangefläche eingeschalteten Blendung (*Bl* Fig. 187) irgend ein verticaler Streifen, wie *a b*, isolirt werden kann. An einem solchen sieht man dann oben und unten die beiden Componenten, in der Mitte, bei *m*, die Mischfarbe. Durch Verschiebung der Spalte s_1 und s_2 lassen sich auf diese Weise successiv die verschiedensten Farbenmischungen herstellen und die Complementärfarbenpaare aufsuchen.

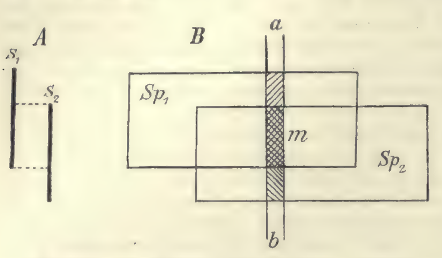


Fig. 188. **Beweglicher Doppelspalt für spektrale Farbenmischungen.**

Statt der beschriebenen objectiven Methoden der Herstellung und Mischung einfacher Spektralfarben, die für Demonstrationszwecke allein verwendbar, bei genauer Ausführung aber auch für Untersuchungszwecke, im Hinblick auf die fast beliebig variirbare Größe der Farbenflächen, die Möglichkeit exacter Abstufungen der Lichtstärke mittelst der Episkotister u. s. w., große Vorzüge besitzen, kann man nun auch subjective Methoden anwenden, bei denen die durch die Brechung im Prisma gewonnenen Spektralfarben und ihre auf irgend eine Weise hergestellten Mischungen direct durch ein Fernrohr oder eine andere geeignete optische Vorrichtung in das Auge des Beobachters geleitet werden. Bei dieser subjectiven Methode lassen sich im allgemeinen noch bequemer als bei der objectiven die erforderlichen optischen Vorrichtungen zu festen, jederzeit verfügbaren Apparaten vereinigen; freilich ist man dann aber auch auf künstliche Lichtquellen angewiesen. Im allgemeinen haben die gebräuchlichen Spektroskope als Vorbilder solcher Apparate gedient. Falls es sich nur um die Untersuchung der einfachen Farben, nicht um Farbenmischungsversuche handelt, ist unter diesen Vorrichtungen der Vierordt'sche Spektralapparat, der nebenbei noch zu allen sonstigen spektroskopischen Zwecken, z. B. zur Prüfung farbiger Gelatinecombinationen und Strahlenfilter auf ihre spektrale Reinheit, benutzt werden kann (s. unten), das einfachste und nützlichste Instrument[1]. Bei ihm ist lediglich die gewöhnliche Form des Spektralapparats mit einer Hülfsvorrichtung versehen, welche die Isolirung eines beliebigen kleinen Theils des Spektrums und die Vergleichung zweier solcher Theile möglich macht. Zu diesem Zweck ist innerhalb der Ocularröhre in der Brennweite der Ocularlinse eine Spaltvorrichtung angebracht, die aus zwei unabhängig verstellbaren, über einander liegenden verticalen Spalten besteht, deren jeder ebensowohl in seiner Breite wie in seiner Lage zum Spektrum verändert werden kann. Namentlich zur Prüfung Farbenblinder in

[1] Vierordt, Die Anwendung des Spektralapparats zur Messung und Vergleichung der Stärke des farbigen Lichtes. 1878.

Bezug auf die Erkennung und Unterscheidung von Spektralfarben ist diese Einrichtung brauchbar.

Einer vielseitigeren Verwendung ist der überaus sinnreich construirte HELMHOLTZ'sche Farbenmischapparat fähig[1]. Auch er beruht darauf, dass man zwei in einem und demselben Prisma durch zwei Spalte entworfene Spektren mit beliebigen ihrer Theile zur Deckung bringt und so die gewünschten Mischfarben erzeugt. Auf einem großen eisernen, mit Stellschrauben versehenen Dreifuße (Fig. 189) steht eine starke Säule mit dem Prismenteller *o*, mit dem das ohne Ocular zu verwendende Beobachtungsrohr *m* fest verbunden ist. Zwei Collimatorröhren *p b* und p^1 b^1 sind mittelst Alhidade

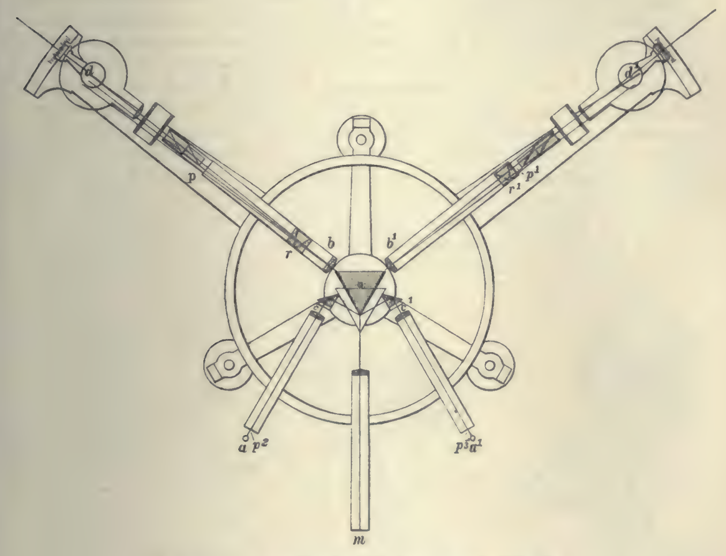


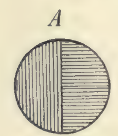
Fig. 189. Farbenmischapparat nach HELMHOLTZ.

und Zapfen um *o* drehbar; und mit ihnen drehen sich durch Mikrometerschraube zugleich die beiden Lampen *d* und d^1. Eine Verlängerung der Alhidaden gibt auf einem Kreissegment die Stellungen der Collimatoren in $^1/_{100}$ Grad ausgedrückt an. Bei p, p^1, p^2 und p^3 befinden sich bilaterale Spalte, d. h. solche, bei welchen beide Backen entgegengesetzt gleichmäßig bewegt werden können. Ein ebensolcher kleinerer Spalt ist am Beobachtungsfernrohre

[1] HELMHOLTZ, Physiolog. Optik², S. 355 ff. ARTH. KÖNIG, WIEDEMANNS Annalen, Bd. 22, 1884, S. 572. SCHMIDT und HAENSCH, Zeitschrift für Instrumentenkunde, Bd. 13, 1893, S. 200 ff.

im Punkte *m* angebracht. Alle diese Spalte sind mit mikrometrischer Ablesung versehen. Für das Fernrohr liegt dem Apparate ein aufsteckbares Ocular bei, mit dessen Hülfe dasselbe auf unendlich eingestellt wird, so dass der Spalt bei *m* genau im Bildpunkte liegt. Dann gibt jeder der beiden Collimatoren, wenn er erleuchtet und mit dem Objectiv ausgerüstet wird, ein Spektrum in *m*. Der Apparat ist richtig eingestellt, wenn sich beide Spektren derart decken, dass die Lage eine entgegengesetzte ist: die rothe Region vom rechten Collimator erscheint in *m* links, während vom linken an dieser Stelle die blaue Region liegt. Mittelst Mikrometerschrauben können nun beide Collimatoren und hiermit auch die Spektren verschoben werden. Wenn demnach im Ocularspalt eine Region des Spektrums aus dem einen Collimator fixirt ist, so kann durch die Mikrometerschraube des zweiten Collimators ein beliebiger Theil vom andern Spektrum mit der fixirten Region zur Deckung gebracht und so eine Mischfarbe aus zwei verschiedenen Spektralregionen hergestellt werden. Innerhalb der Collimatoren befinden sich ferner die doppeltbrechenden Prismen *r* und r^1. Dieselben lassen sich durch Zahn und Trieb vom Spalt bis zum Objectiv beliebig bewegen; eine Millimeterscala gibt die jedesmalige Stellung an. Die brechende Kante dieser Prismen steht parallel zum Spalt. Findet nicht gerade absolute Berührung zwischen dem Prisma und dem Spalte statt, so wird daher ein Doppelbild des Spaltes entworfen, bezw. jeder Collimator entwirft zwei Spektren, die rechtwinkelig zu einander polarisirt sind. Je weiter die Prismen vom Spalt abstehen, um so mehr rücken diese Spektren über einander, so dass schließlich Roth mit Blau zur Deckung gebracht werden kann. Entfernt man nun das Ocular aus dem Fernrohr, und bringt man das Auge dicht an den Spalt *m*, so erscheint das Objectiv in zwei farbige Hälften getheilt, beide durch eine verticale Linie getrennt, die durch die vordere Kante des Prismas *o* gebildet wird (Fig. 190 *A*). Wird das Prisma *o*, statt ihm die in der Fig. 189 durch die Schattirung angedeutete Stellung zu geben, etwas weiter nach vorn, in die durch die einfache Umgrenzung angedeutete Lage gebracht, so greifen dagegen, wie die Verfolgung der Strahlen durch das Prisma leicht erkennen lässt, die beiden Spektren mit ihren inneren Theilen über einander, und das dem Auge in *m* erscheinende Bild hat nun die in Fig. 190 *B* erscheinende Form. Diese Theilung in drei Felder ist aber wegen der damit verbundenen Verkleinerung der farbigen Flächen ungünstiger[1]. Weiterhin ist dann noch die Einrichtung getroffen, dass nicht allein durch die Verengerung oder Erweiterung der Spaltöffnungen der Collimatoren eine verschiedene Helligkeit der Farben hergestellt werden kann, sondern dass auch jedes der einzelnen Spektren für sich in seiner Stärke zu variiren ist. Dies

A



B

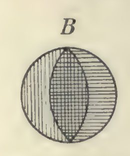


Fig. 190. Gesichtsfeld des HELMHOLTZ'schen Apparates: *A* bei gewöhnlicher, *B* bei vorgeschobener Lage des Prismas.

[1] An dem ursprünglichen HELMHOLTZ'schen Apparat hatte das Prisma die zuletzt erwähnte Stellung (Physiolog. Optik[2], Fig. 142, S. 355). Auch ist diese Stellung zusammen mit einigen weiteren Hülfsvorrichtungen von A. KÖNIG benutzt worden, um das Instrument zugleich als Polarisationsphotometer zu verwenden.

geschieht, indem vor die beiden Spalte noch zwei große GLAN'sche Nicols p und p^1 mit Theilkreis für Minutenablesung gebracht worden sind. Durch die Stellung dieser Nicols zu den in den Collimatoren befindlichen doppeltbrechenden Prismen r und r^1 kann daher die durchgehende Lichthelligkeit nach Wunsch verändert werden. Zum Schutz gegen die Wärmestrahlen der Lampen d und d^1 (Gas-Triplexbrenner) befindet sich zwischen diesen und den Nicols noch je ein mit Wasser gefüllter Absorptionskasten. Endlich hat ARTH. KÖNIG, um eventuell jedem der beiden Spektren auch noch weißes Licht beimischen zu können, zwei weitere Collimatoren ac und a^1c^1 an dem Instrument anbringen lassen. Dieselben reflectiren das Licht ihrer durch die kleinen Lampen a und a^1 erleuchteten Spalte mittelst der bei c und c^1 angebrachten total reflectirenden kleinen Prismen nach m. Gewöhnlich werden jedoch dem Instrument diese Hülfscollimatoren für weißes Licht nicht beigegeben. Auch sind sie entbehrlich, da sich eine genauere quantitative Abstufung des zugelassenen Lichtes nicht vornehmen lässt. Ueberhaupt ist der Apparat zur Untersuchung der verschiedenen Formen der Farbenblindheit in vorzüglicher Weise geeignet. Sobald es sich aber um quantitative Bestimmungen handelt, bei denen genaue und gleichmäßige Abstufungen der Helligkeiten und Sättigungen erfordert werden, so sind ihm die Methoden der objectiven Entwerfung des Spektrums, bei denen sich die Episkotisterabstufung verwenden lässt, überlegen, um so mehr da sie überdies günstigere, den Beobachter weniger durch die ausstrahlende Wärme belästigende Lichtquellen und unter Umständen die Verwendung von Sonnenlicht möglich machen.

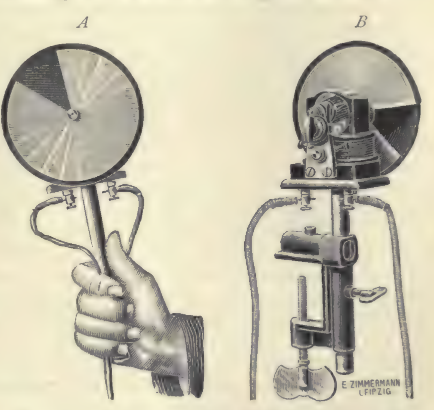


Fig. 191. Elektromotorische Farbenkreisel: *A* mit Handgriff, *B* mit festzuschraubendem Stativ.

Neben der, wo sie durchführbar ist, natürlich immer vorzuziehenden Anwendung der Farben des Spektrums lässt sich schließlich für viele Zwecke die bequemere und in viel mannigfaltigeren Formen mögliche Verwerthung der Pigmentfarben nicht entbehren. Ausgeschlossen ist allerdings die directe Mischung von Malerfarben, weil dabei eine Complication von Absorptions- und Mischungswirkungen entsteht, in der die ersteren wegen der Uebereinanderlagerung der Pigmenttheilchen meist sehr überwiegen[1]. Die allein zulässige Methode, Pigmentfarben zu mischen, besteht daher in der Mischung rasch sich folgender Eindrücke, wie sie in der zweckmäßigsten Weise bei der Anwendung des Farbenkreisels stattfindet, der in seinen verschiedenen Formen schon aus Anlass der mit ihm ebenfalls

[1] HELMHOLTZ, Physiolog. Optik[1], S. 272, [2] S. 311 f.

leicht auszuführenden Intensitätsabstufungen des Lichtes besprochen wurde (Cap. IX, Bd. 1, S. 522 ff.). Die bequemste Form ist der Farbenkreisel, der durch ein Federuhrwerk oder durch einen kleinen direct an seinem Stativ angebrachten Elektromotor in Rotation versetzt wird (Fig. 191). Durch eine Schraube kann die Rotation momentan gehemmt oder in Gang gebracht werden. Ein brauchbarer Apparat muss eine Scheibe von 20 cm Durchmesser noch in so rasche Bewegung setzen, dass selbst bei Anwendung von nur wenigen Sectoren eine vollkommene Mischung eintritt und kein Flimmern mehr zu beobachten ist. Für Versuche, bei denen es sich um eine schnelle Vergleichung mehrerer Scheiben handelt, muss man mehrere solcher Rotationsapparate zur Verfügung haben, die auf mobilen oder an den Experimentirtisch angeschraubten Stativen befestigt sind (Fig. 191 *B*). Sobald jedoch eine constante, genau messbare und eventuell variable Geschwindigkeit hergestellt werden soll, sind diese Apparate nicht mehr brauchbar, sondern man bedient sich dann am besten eines durch einen Schnurlauf mittelst eines Elektromotors in Bewegung zu setzenden Apparats, bei dem durch Variation der Stromstärke und mehrfache Uebertragungen die Geschwindigkeit regulirt wird. Sehr nützlich ist außerdem für viele Fälle der MARBE'sche Rotationsapparat mit während der Rotation variabeln Sectoren (Bd. 1, Fig. 153, S. 524). Zur Helligkeitsbestimmung der bei den rotirenden Scheiben zur Verwendung kommenden dunklen Pigmente, namentlich des Schwarz, das dann selbst wieder zusammen mit reinem Weiß zu weiteren Helligkeitsbestimmungen dient, bedient man sich der Bd. 1, S. 523 angeführten Episkotistermethode.

Da auch die schönsten farbigen Papiere, die selbstverständlich stets vollkommen glanzlos sein müssen, immer nicht nur viel weißes Licht, sondern auch andere Farben enthalten, so bietet übrigens die Benutzung durchsichtiger farbiger Gläser und namentlich die von KIRSCHMANN[1] zuerst eingeführte der farbigen Gelatineplatten ein außerordentlich schätzbares Mittel, um statt durch Reflexion, wie bei den Farbenscheiben, durch Absorption bei durchfallendem Licht annähernd spektralreine Farben künstlich herzustellen. Die Gelatineplatten bieten hierbei den Vortheil, dass sie in den verschiedensten Farben im Handel sind, und dass sie wegen ihrer Dünne sehr leicht in mehrfacher Superposition verwendet werden können, so dass auf diese Weise durch Ausprobiren fast alle Farben nahezu vollkommen spektralrein erhalten werden können. Man controlirt zu diesem Zweck die Gelatinecombinationen, unter Benutzung der auch für die Versuche verwendeten Lichtquelle, so lange am Spektralapparat, bis sie annähernd nur noch Licht von einer Wellenlänge durchlassen. Die einzige Farbe, die dieser Methode Widerstand leistet, ist das Gelb, was man aber nach der früher (Bd. 1, S. 525) erwähnten Methode mittelst eines LIPPICH'schen Strahlenfilters (einer zwischen zwei planparallelen Glasplatten eingeschlossenen Flüssigkeit) nahezu vollkommen spektralrein erhalten kann[2]. Von besonderem Werthe ist endlich die Verbindung dieser Methode der Herstellung von Farben spektraler Sättigung mit der Methode der Mischung am Farbenkreisel. Man kann sich dazu wieder einer durch Federuhrwerk oder durch einen Elektromotor getriebenen Farbenscheibe

---

[1] KIRSCHMANN, Philos. Stud. Bd. 6, 1891, S. 543.

[2] LANDOLT, Das optische Drehungsvermögen organischer Substanzen. 1879. W. HELLPACH, Philos. Stud. Bd. 15, 1900, S. 530.

bedienen, verwendet aber statt der farbigen Papiersectoren Gelatinesectoren in spektralreinen Combinationen oder eventuell auch (besonders bei Gelb) eines rotirenden Strahlenfilters. Zwischen den Gelatinesectoren finden sich, wie beim Episkotister (Bd. 1, Fig. 152, S. 524), schwarze Metall- oder Cartonstreifen zur Befestigung jener. Vor die von hinten beleuchtete rotirende Scheibe wird ein Schirm mit einem Schlitz gebracht, der nur einen beleuchteten Theil der Scheibe frei lässt und durch welchen der Beobachter blickt. Diese Methode hat den großen Vorzug, dass sie bequem Mischungen von Farben spektraler Sättigung unter Anwendung von beliebig vielen Farben gestattet, während bei der Benutzung des Spektrums Mischungen von mehr als zwei Farben sehr umständliche Versuchsanordnungen erfordern. Auch lässt sich diese Methode der Farbenmischung unmittelbar mit der Episkotistermethode der Intensitätsabstufung combiniren, indem man entweder die Farbenscheibe sowohl durch die Benutzung in ihrer Breite variirbarer schwarzer Sectoren zugleich als Episkotister verwendet oder vor ihr einen eigentlichen Episkotister aufstellt.

d. Adaptation der Netzhaut und locale Unterschiede ihrer Erregbarkeit.

Nachdem wir in dem Vorangegangenen die wesentlichen Eigenschaften der Lichtempfindungen nach Farbenton, Farbengrad und Lichtstärke betrachtet haben, wird uns nunmehr noch eine Reihe von Abweichungen und Nebenerscheinungen beschäftigen müssen, die jene Eigenschaften unter bestimmten normalen wie abnormen Bedingungen darbieten. Fehlt es auch in andern Sinnesgebieten nicht an analogen Erscheinungen, so sind diese doch für den Gesichtssinn ganz besonders charakteristisch. Die nächste und auf das tiefste in die Verhältnisse des Empfindungssystems eingreifende ist die Adaptation der Netzhaut. Man versteht darunter, wie der Name es andeutet, die Thatsache, dass der Zustand der Sehfläche den Bedingungen der stattfindenden Reizung sich anpasst. Dadurch aber dass diese Anpassung stets einer gewissen, im allgemeinen relativ beträchtlichen Zeit bedarf, bis sie vollständig eingetreten ist, und dass von allen Factoren der Lichtempfindung vorzugsweise die Lichtstärke für sie bestimmend ist, gewinnen die Erscheinungen ihren eigenartigen Charakter.

Dasjenige Phänomen, durch das sich die Adaptation der Netzhaut zunächst und am augenfälligsten verräth, ist die positive Blendung. Diese positive oder gewöhnliche Blendung besteht darin, dass beim Uebertritt aus dem Dunkeln ins Helle, namentlich nach längerem Aufenthalt im Dunkeln, eine erhöhte Reizbarkeit der Netzhaut besteht, die eine deutliche Unterscheidung der Eindrücke hindert und oft mit Schmerzhaftigkeit, regelmäßig aber mit starken Reflexen auf die Schließmuskeln des Auges und der Pupille verbunden ist. Neben dieser allbekannten gibt es aber auch eine »negative Blendung«: so können wir nämlich die Erscheinung nennen, dass beim plötzlichen Eintreten aus dem

Hellen ins Dunkle sowohl die Reiz- wie die Unterschiedsschwelle stark erhöht erscheint, dann aber bei längerem Aufenthalt im Dunkeln allmählich sinkt. Beide Thatsachen weisen darauf hin, dass die Netzhaut allmählich in einen Zustand übergeht, der der Beleuchtung der Umgebung angepasst ist: im Dunkeln wird sie reizbarer, im Hellen vermindert sich ihre Reizbarkeit. Für die Veränderung im Dunkeln, die sogenannte »Dunkeladaptation«, besitzen wir übrigens auch ein objectives Kennzeichen in der Ansammlung des Sehpurpurs[1]. Für die Helladaptation gibt es, abgesehen von dem Verschwinden dieses Farbstoffs, solche Kennzeichen außer den subjectiven des Sehens nicht. Nach diesen aber muss man jedenfalls mannigfache Stufen der Adaptation annehmen, bei denen jedesmal durch uns noch unbekannte Vorgänge innerhalb der Sehzellen diese den der Lichtumgebung adäquaten Zustand der Erregbarkeit annehmen. Die Geschwindigkeit, mit der dies geschieht, ist dabei selbst hauptsächlich von der Lichtumgebung abhängig. Namentlich bedarf die Dunkeladaptation einer erheblich längeren Zeit als die Helladaptation. Die Unterschiede sind ferner bei jugendlichen Individuen viel ausgeprägter als bei älteren, bei denen sich die Dunkeladaptation mehr und mehr abschwächt, und die daher bei Tage noch sehr deutlich, in der Dämmerung aber manchmal fast nichts mehr sehen (die »Hemeralopie« der Augenärzte). Bei normalen Verhältnissen des Sehorgans kann man annehmen, dass nach einem Aufenthalt von 20 Minuten im Dunkeln eine vollständige Dunkeladaptation eingetreten ist, während die Helladaptation viel schneller erfolgt. Doch zeigen beide Vorgänge einen stetigen, anfangs raschen und später sehr langsamen Verlauf, so dass eine Adaptationszunahme sehr deutlich nicht nur diesseits der angegebenen Grenze von 20 Min., sondern auch noch über sie hinaus zu bemerken ist. Selbst ein verhältnissmäßig rasch vorübergehender Beleuchtungswechsel kann daher die adaptiven Processe bis zu einem gewissen Grade auslösen. Auch können diese in local begrenzter Form auftreten, indem sich eine Netzhautstelle z. B. einer auf ihr sich abbildenden dunkeln Fläche adaptirt, indess die übrige Netzhaut im Zustande der Helladaptation verbleibt.

Außer in den Erscheinungen der positiven und negativen Blendung verräth sich nun die Adaptation auch noch in Veränderungen der Erregbarkeit. Besonders gilt das für den Zustand der Dunkeladaptation, indem ja der ihr gegenüberstehende der Helladaptation als der normale betrachtet wird, daher er auch der obigen allgemeinen Schilderung des Empfindungssystems zu Grunde gelegt wurde. Jene Erregbarkeitsänderungen bei Dunkeladaptation bestehen aber theils in einer starken

---

[1] Vgl. Bd. 1, Cap. VIII, S. 429.

Erhöhung der Erregbarkeit für farblose Lichtreize, theils in einer auffallenden Verminderung der Farbenempfindlichkeit, die überdies die verschiedenen Farben in ungleichem Maße und je nach dem Grad der Dunkeladaptation in etwas abweichender Weise trifft. Offenbar ist es als ein Product des Zusammenwirkens dieser beiden für farbloses und für farbiges Licht entgegengesetzten Veränderungen der Erregbarkeit anzusehen, dass bei zureichender Dunkeladaptation und sehr geringer Lichtstärke alle Farben weiß erscheinen. Zugleich zeigt diese Thatsache, dass alle Farbenempfindungen, auch die der vollkommensten Sättigung, die Spektralfarben, eine farblose Empfindungscomponente enthalten, die eben in dem Augenblick für sich allein zur Geltung kommt, wo durch das Zusammenwirken von Dunkeladaptation und Intensitätsverminderung des Eindrucks die Farbencomponente wirkungslos geworden ist. Entwirft man ein prismatisches Spektrum im Dunkelzimmer, und schwächt man durch Verengerung des Spalts oder durch ein Episkotister die Lichtstärke hinreichend ab, so erscheint daher dem dunkeladaptirten Auge das ganze Spektrum als ein farbloses Band, das in seiner Mitte, in der Region des Grün, am hellsten ist und von da nach beiden Seiten an Lichtstärke abnimmt. Ein Beweis dafür, dass diese Erscheinung des farblosen Dunkelspektrums auf einer reinen Helligkeitscomponente beruht, die nach dem völligen Wegfallen der Farbenerregungen noch zurückbleibt, liegt darin, dass jenes farblose Band solchen Augen, die mit der später zu erwähnenden totalen Farbenblindheit behaftet sind, genau in der gleichen Weise erscheint, nur dass eben von ihnen das Spektrum auch bei gewöhnlicher Lichtstärke und ohne Dunkeladaptation farblos gesehen wird[1]. Für das normale Auge sind nun die Grenzen, wo die Farbenempfindungen zuerst in ihrem Farbengrad abnehmen und dann in einen ganz farblosen Eindruck übergehen, für die verschiedenen Farben wieder verschieden. Lässt man nämlich, nachdem das ganze Spektrum farblos geworden, allmählich die Lichtstärke desselben zunehmen, so treten zweierlei Veränderungen ein. Erstens verschiebt sich die Stelle der größten Helligkeit: sie geht von Grün auf Gelb über, während gleichzeitig Blau relativ dunkler und Roth heller wird; und zweitens treten die Farbenempfindungen successiv in der Reihenfolge hervor, dass zuerst die kurzwelligen Farben (Blau und Violett) und dann die langwelligen (Gelb und Roth) erscheinen. Nimmt man die Aenderungen der Lichtstärke in der umgekehrten Richtung vor, so kehren sich dann auch die Farben- und Helligkeitsänderungen um. Alle diese Abweichungen der Empfindung sind aber offenbar gleichzeitige Wirkungen der Lichtstärkenänderung und der Adaptation, da sich

[1] Hering, Pflügers Archiv, Bd. 49, 1891, S. 563.

mit der ersteren immer auch die letztere verändern muss. Nur insofern wirkt diese für sich allein schon begünstigend auf die Phänomene, als die Dunkeladaptation des umgebenden Gesichtsfeldes die von der gleichen Adaptation herrührenden Veränderungen der direct gereizten Stelle verstärkt.

In Folge dieser nothwendigen Beziehungen von Adaptation und Lichtstärke kommen denn auch alle diese Erscheinungen schon unter den gewöhnlichen Verhältnissen des Sehens in einem gewissen Grade vor, da wir ja einem Wechsel der Lichtstärke fortwährend unterworfen sind. Als

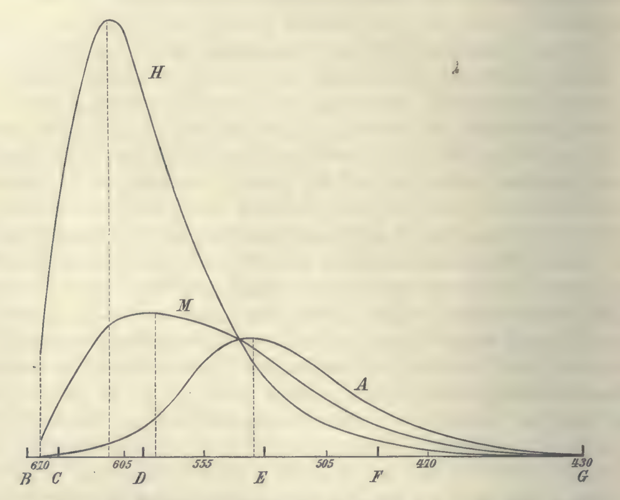


Fig. 192. Curven der Helligkeitsvertheilung im Spektrum bei großer (H), mittlerer (M) und schwacher Lichtstärke (A).

solche sich in der täglichen Erfahrung geltend machende Einflüsse sind sie zuerst von PURKINJE beachtet worden, daher man sie auch als das »PURKINJE'sche Phänomen« zu bezeichnen pflegt. Wenn man z. B. Gemälde zu verchiedenen Tageszeiten betrachtet, so machen sie einen sehr wechselnden Eindruck: bei hellem Tage leuchten am meisten die rothen und gelben Farbentöne, in der Dämmerung dagegen die grünen und blauen, wobei dann diese zugleich in ihrer Farbenqualität leicht verwechselt werden. Ein Maß für Eintritt und Verlauf dieses Phänomens lässt sich gewinnen, wenn man ein Spektrum entwirft und nun bei verschiedener Beleuchtung den Ort der intensivsten Empfindung in dem-

selben ermittelt, sowie die relativen Größen dieser verschiedenen Maximalpunkte der Helligkeit abschätzt. Man erhält so bei der Vergleichung dreier Lichtstärken, einer maximalen *H*, einer minimalen *A* und einer mittleren *M*, die in Fig. 192 dargestellten Curven der Helligkeitsvertheilung. Bei *H* und *M* liegt das Maximum beidemal im Gelb, aber dort näher dem Roth, hier dem Grün, bei *A* ist es vollständig nach dem Grün verschoben[1]. Nun ist das Grün diejenige Farbe, für welche die zur Auslösung einer Empfindung erforderliche objective Energie des Lichtes unter allen Umständen, bei Hell- und Dunkeladaptation, am größten ist, während sie nach dem Roth hin sehr bedeutend, nach dem Blau weniger abnimmt. Dies erhellt aus den folgenden Werthen der von H. EBERT bei zwei Beobachtern *S* und *E* vorgenommenen Messungen der in relativen Energiegrößen berechneten Reizschwellen, wobei der Maximalwerth der Energie im Grün = 1 gesetzt wurde.

		Roth	Gelb	Grün	Grünblau	Blau
Wellenlänge		675	590	530	500	470
relative Reizschwelle	*S*	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{15}$	1	$\frac{1}{1,3}$	$\frac{1}{3}$
	E	$\frac{1}{34}$	$\frac{1}{17}$	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$ [2]

Hiernach lässt sich der Verlauf der Adaptationsphänomene auch folgendermaßen formuliren: mit wachsender Dunkeladaptation verschiebt sich der Punkt der maximalen Erregung im Spektrum allmählich im Sinne der größeren objectiven Lichtenergie. Nach der Reduction aller Theile des Spektrums auf gleiche Helligkeit werden sich also bei Dunkeladaptation die zur Auslösung einer Helligkeitsempfindung erforderlichen Energiegrößen weit mehr der Gleichheit nähern als bei Helladaptation, wo die langwelligen Strahlen in unverhältnissmäßigem Uebergewichte sind.

Alle diese Erregbarkeitsänderungen durch Adaptation gelten nun aber schließlich nur unter der Bedingung, dass die Lichteindrücke eine zureichende räumliche Ausdehnung auf der Netzhaut besitzen. Sie erfahren dagegen bemerkenswerthe Modificationen, wenn der Lichtreiz unter eine bestimmte minimale Raumgrenze herabgeht. Annähernd punktförmige Eindrücke vermindern unter allen Umständen die Empfindung der Farbengrade. (Vgl. Bd. 1, S. 529.) Die gleiche Bedingung wirkt jedoch im allgemeinen noch augenfälliger, wenn die Lichteindrücke bei Dunkeladaptation einwirken. Denn hier beobachtet man, dass punktförmige Eindrücke nicht bloß bei jenen geringen Lichtstärken, bei

[1] A. KÖNIG, Ueber den Helligkeitswerth der Spektralfarben. Festschrift für HELMHOLTZ. 1891, S. 1 ff.
[2] EBERT, WIEDEMANNS Annalen, Bd. 33, 1888, S. 136.

denen auch das ganze Spektrum weiß erscheint, sondern bei beliebiger Lichtstärke farblos gesehen werden. Bestimmt man aber die räumlichen Grenzwerthe, bei denen ein Farbeneindruck aus der farblosen in die farbige Empfindung übergeht, so folgen sich die Farben in der Reihenfolge, in der sich auch bei der gewöhnlichen Helladaptation ihre Farbenenergie geltend macht: die langwelligen werden also bei räumlich viel beschränkterer Reizwirkung empfunden als die kurzwelligen. Deutlich ergeben sich diese zuerst von CHARPENTIER[1] festgestellten Verhältnisse aus der folgenden Zusammenstellung einer von E. DÜRR ausgeführten Versuchsreihe. Die obere Linie enthält jedesmal, bei Hell- wie Dunkeladaptation, den Gesichtswinkel, bei dem die betreffende Spektralfarbe eben als Lichteindruck, die untere denjenigen, bei dem sie eben als Farbe empfunden wurde:

		Roth	Gelb	Grün	Blau	Indigoblau
Helladaptation	Licht	52″	26″	52″	52″	1′ 44″
	Farbe	52″	2′ 36″	1′ 44″	5′ 12″	10′ 27″
Dunkeladaptation, stärkere Lichtreize	Licht	52″	52″	52″	52″	1′ 44″
	Farbe	52″	2′ 10″	2′ 10″	5′ 13″	12′ 8″
Dunkeladaptation, sehr schwache Lichtreize (Spaltbreite 1/4 mm)	Licht	5′ 12″	2′ 10″	52″	2′ 36″	2′ 10″
	Farbe	5′ 12″	3′ 55″	3′ 29″	5′ 12″	15′ 36″

Aus diesen Zahlen ersieht man, dass sich bei Hell- und Dunkeladaptation die Empfindungen annähernd punktförmiger Eindrücke bei größeren Lichtstärken vollkommen übereinstimmend verhalten, und dass in beiden Fällen spektrales Roth die empfindlichste Farbenqualität hat, da bei ihr mit dem Lichteindruck auch sofort die Farbe merklich wird, während die übrigen Farben eine ansteigende Reihe bilden, indem die Gesichtswinkel, bei denen die farbige Empfindung eintritt, mit dem Uebergang zu den brechbareren Strahlen immer mehr zunehmen. Abweichend verhält sich dagegen die der Farbe vorangehende reine Helligkeitsempfindung, da sie bei Hell- und Dunkeladaptation auch hier jene Verschiebung zeigt, die bei den oben geschilderten Helligkeitsänderungen des Spektrums beobachtet wird. Damit stimmen die Veränderungen überein, die bei vorhandener Dunkeladaptation dann eintreten, wenn die Lichtstärke der Reize herabgesetzt wird. Denn nun nehmen die Licht- und Farbenschwellen beim Roth beträchtlich zu, während sie für die mittleren Farben, Gelb und Grün, abnehmen und für die Endfarben sich wenig verändern, so dass also auch hier der Minimalwerth der Schwelle gegen das Grün vorrückt. Hieraus erhellt, dass die bei der gewöhnlichen Lichtstärke der Spektralfarben zu beobachtende Farblosigkeit punktueller Eindrücke auf wesentlich andern

[1] CHARPENTIER, Comptes rend. t. 91, 1880, p. 49, 240.

Bedingungen beruht als die Entfärbung des Spektrums bei Dunkeladaptation und geringer Lichtstärke. Dort kommen die normalen Verhältnisse der Farbenerregbarkeit auch bei der Dunkeladaptation des ganzen Gesichtsfeldes zur Wirkung, offenbar weil eben durch die intensivere Farbeneinwirkung selbst die adaptive Veränderung für die gereizte Stelle beseitigt wird: daher die wesentliche Uebereinstimmung der Erscheinungen bei Hell- wie Dunkeladaptation des übrigen Gesichtsfeldes. Indem sich nun aber auch hier gewisse Schwellenwerthe, und zwar in diesem Fall räumliche Schwellenwerthe ergeben, unterhalb deren wir noch Licht, keine Farbe mehr empfinden, lehren diese Versuche außerdem, dass auch im Zustand der normalen Helladaptation die Lichtempfindlichkeit der Sehelemente größer ist als ihre Farbenempfindlichkeit, oder, wie wir, nachdem oben die Nothwendigkeit der Annahme einer relativ selbständigen Helligkeitscomponente erkannt wurde, das nämliche auch ausdrücken können: dass die Helligkeitscomponente der Lichterregung schon bei geringeren Lichtstärken ausgelöst wird als die Farbencomponente. Nur das Roth macht in dieser Beziehung eine Ausnahme, indem bei ihm im allgemeinen Farben- und Lichtschwelle übereinstimmen. Damit hängen sichtlich zugleich andere Erscheinungen zusammen, die sich bei diesen Beobachtungen punktförmiger Eindrücke, namentlich wenn zugleich die Dunkeladaptation des übrigen Gesichtsfeldes hinzukommt, ergeben. Sie bestehen darin, dass die Empfindungen der kurzwelligen Strahlen bei punktförmigen Eindrücken überhaupt sehr viel unbeständiger sind als die der rothen. Während die letzteren fast ebenso gut dauernd festgehalten werden können wie bei räumlich umfangreicheren Reizen, verschwinden die grünen oder blauen Punkte bald ganz, bald gehen sie in andere Farben oder in farblose Empfindungen über.

Die geschilderten Phänomene der Adaptation sowie der ihnen hinsichtlich der Verhältnisse der Helligkeits- und Farbenempfindung einigermaßen verwandten der räumlich kleinsten Lichteindrücke bezogen sich sämmtlich in erster Linie auf diejenigen Empfindungen, die beim normalen Sehen die dominirende Rolle spielen: auf solche nämlich, die durch Erregung der centralen Region der Netzhaut, der Macula lutea, erzeugt werden. Denn überall, wo wir die Objecte, deren Lichteigenschaften beobachtet werden, fixiren, wie das unter den gewöhnlichen Bedingungen des Sehens immer stattfindet, müssen die Empfindungen der Macula lutea allein oder vorzugsweise in Betracht kommen. Nun bemerkt man aber, dass im Dunkeln, namentlich bei der Beobachtung annähernd punktförmiger Objecte, die Fixation wesentlich unsicherer wird, offenbar weil die sonstigen Orientirungspunkte im Raum

fehlen; es bleibt daher immer möglich, dass bei stattfindender Dunkeladaptation die Empfindungen der peripheren Theile der Netzhaut eine größere Rolle spielen. Schon aus diesem Grunde erfordern also die Erscheinungen der Adaptation zugleich eine genauere Untersuchung der Sensibilitätsverhältnisse der verschiedenen Netzhautregionen; um so mehr, da, wie alsbald die nähere Verfolgung dieser Unterschiede zeigen wird, die Eigenschaften der peripheren Theile denjenigen Eigenschaften theilweise ähnlich sind, welche die ganze Netzhaut bei der Dunkeladaptation annimmt. Diese Analogien haben in der That die Vermuthung erweckt, das Sehen im Zustande der letzteren sei im wesentlichen nichts anderes als ein Sehen mit den Seitentheilen oder mindestens mit dominirender Function der Seitentheile der Netzhaut. (Vgl. Bd. 1, S. 431.)

Da die Empfindlichkeit für spektrale Farbentöne wegen der im Hellen überall stattfindenden Vermischung mit Weiß nur mittelst der Aussonderung der einzelnen Spektralfarben im Dunkeln geprüft werden kann, so ist es auch hier wieder am zweckmäßigsten, vom Zustand der Dunkeladaptation auszugehen. Beobachtet man in diesem, während die Gesichtslinie durch einen Fixirpunkt festgehalten wird, successiv eine kleine Fläche von spektraler Sättigung und von zureichender Ausdehnung und Lichtstärke, so bemerkt man, dass mit dem Uebergang des Objectbildes auf seitliche Netzhautstellen Helligkeits- und Farbenänderungen eintreten, die den durch die Dunkeladaptation selbst erzeugten ähnlich sind. Erstens nämlich nimmt die scheinbare Helligkeit der Objecte beim Uebergang auf periphere Stellen merklich zu; und zweitens nehmen farbige Eindrücke in ihrem Farbengrad um so mehr ab, je excentrischer das Bild wird, bis endlich in den seitlichsten Theilen sogar Farben von spektraler Sättigung und größter Lichtintensität vollkommen farblos erscheinen. Dabei sind zugleich diese Veränderungen von der Größe der farbigen Objecte in derselben Richtung abhängig, die sich schon im centralen Sehen bei der Einwirkung annähernd punktförmiger Reize geltend macht: die Zone, von der an die Farbenempfindung verschwindet, rückt auch hier um so näher an das Netzhautcentrum heran, je kleiner die Objecte werden. Dabei verhalten sich aber wiederum die verschiedenen Farben durchaus nicht gleich. Auch finden sich nach den verschiedenen Richtungen einer und derselben Netzhaut wie nicht minder in den übereinstimmenden Richtungen der beiden zusammengehörigen Netzhäute Unterschiede, die überdies noch individuell variiren. Gleichwohl kehren bei normalen Augen gewisse Grundverhältnisse immer wieder, und namentlich zeigen die Grenzlinien, jenseits deren nach außen eine bestimmte Farbenempfindung nicht mehr existirt, immer einen stetigen Verlauf.

Bezeichnen wir diese um das Netzhautcentrum als Mittelpunkt gezogenen Grenzlinien als »Isochromen« (Linien gleicher Farbenempfindung), so sind dieselben analog regelmäßig geordnet wie beim Geschmacksorgan die »Isochymen« (S. 56), nur dass sie, wenigstens unter der Bedingung isolirter Reize von beschränkter Ausdehnung, viel schärfere Empfindungsgrenzen abgeben als die Isochymen, die bloß Zonen von graduell verschiedener Empfindlichkeit scheiden. Entwirft man das System dieser Isochromen für ein bestimmtes Auge, so gibt dasselbe über alle Verhältnisse der Farbenempfindung desselben, allerdings unter der Voraussetzung einer bestimmten extensiven Größe und Lichtstärke der Reize

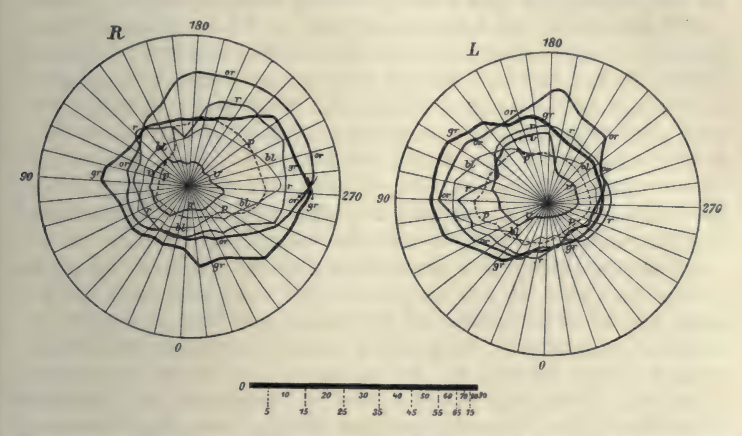


Fig. 193. Isochromen der beiden Netzhäute eines Sehorgans. *R* rechte, *L* linke Netzhaut.

und eines bestimmten Adaptationszustandes, Rechenschaft. Die innerste Isochrome bezeichnet die Grenze, bis zu der alle Farben empfunden werden, die äußerste diejenige, jenseits deren die Farbenempfindung ganz aufhört, und die zwischenliegenden umgrenzen stets Zonen, in denen, ähnlich wie jenseits jener innersten und dieser äußersten Linie, das Empfindungssystem eine annähernd constante Beschaffenheit hat. Doch kommt dabei in Betracht, dass sich gelegentlich die Isochromen schneiden können, wodurch sich dann natürlich auch die Verhältnisse der Zonen verwickelter gestalten. Die Fig. 193 zeigt das nach diesem Princip auf Grund der Prüfung mit Farben von spektraler Reinheit und Sättigung entworfene Isochromensystem der beiden Augen eines normalen Sehorgans. Die einzelnen Isochromen sind zur leichteren Unterscheidung

theils in verschiedener Dicke, theils mit unterbrochenen oder punktirten Linien gezeichnet, die beigefügten Buchstaben deuten die Farben an: *v* violett, *bl* blau, *p* purpur u. s. w. Der unten beigegebene Maßstab gibt die Projectionen der Raumgrößen der Zeichnungsebene auf die Netzhautfläche, wobei diese als Stück einer Hohlkugel gedacht ist. Nicht aufgenommen ist die Isochrome des Gelb. Das Gelb von spektraler Sättigung wird nämlich nur in der Centralgrube empfunden, so dass diese Isochrome mit der Grenze der Macula lutea zusammenfällt, also etwa 5° vom Netzhautcentrum entfernt ist, während schon die nächste Isochrome, die des Violett, bei einem Abstand von etwa 20° gefunden wird. Nach diesem verschwinden dann successiv Purpur, Blau, Roth, Grün, Orange, wobei sich jedoch diese Aufeinanderfolge, wie die Figur unmittelbar erkennen lässt, in den verschiedenen Theilen des Sehfeldes etwas abweichend verhält. Ebenso unterscheiden sich die obere und untere Hälfte der Netzhaut: auf jener, die der unteren Hälfte des Sehfeldes entspricht, sind constant die Isochromen weiter ausgedehnt. Ebenso erstrecken sich diese nach der Nasalseite, auf der sich die äußeren Theile des Sehfeldes abbilden, weiter als nach der Temporalseite; und endlich zeigen rechtes und linkes Auge wieder Unterschiede, bei denen jedoch im wesentlichen das Lageverhältniss der Isochromen dasselbe bleibt[1].

Von den Bedingungen dieser Beobachtungen bei Dunkeladaptation unterscheiden sich die der Helladaptation darin, dass in diesem Fall nicht nur selbstverständlich alle Farbentöne mit Weiß gemischt sind, sondern dass man auch, wenn es sich um die Einwirkung möglichst gesättigter Farben handelt, auf die Benutzung des von farbigen Flächen reflectirten Lichtes, also von Pigmentfarben, angewiesen ist. Hierdurch leiden aber diese Versuche an dem Fehler, dass die untersuchten Farben nicht bloß Weiß, sondern stets auch kleine Mengen anderer Farben enthalten. Immerhin bleiben, wenn die Pigmente möglichst rein und gesättigt gewählt werden, die Farbenempfindungen hinreichend vergleichbar. Dies bestätigt sich auch insofern, als die nach dieser Methode bei Helladaptation ausgeführten Beobachtungen in den wesentlichsten Punkten mit den bei Dunkeladaptation mit Spektralfarben angestellten übereinstimmen. Auch hier bildet Violett den innersten Bezirk: dann folgen sich Grün, Roth und als äußerste Grenzlinie Orange. Nur Gelb und Blau weichen einigermaßen ab, indem beide mehr oder weniger weit über die ihnen im Dunkeln und bei spektraler Reinheit zukommenden Grenzen hinausreichen. Da gerade diese Farben selbst in ihren möglichst gesättigten Pigmenten ziemlich stark mit andern gemischt sind,

---

[1] W. HELLPACH, Philos. Stud. Bd. 15, 1899, S. 524 ff.

so lässt sich aber hieraus kaum auf wesentliche Unterschiede zurückschließen. Dagegen darf man nach der übereinstimmenden Lage der übrigen Isochromen wohl annehmen, dass hier, analog wie bei den Farbenempfindungen punktförmiger Eindrücke, wesentlichere Unterschiede zwischen Hell- und Dunkeladaptation nicht existiren. Diese Folgerung wird dann weiterhin dadurch bestätigt, dass das PURKINJE'sche Phänomen ebenso an der Macula lutea wie in den peripheren Theilen der Netzhaut sich einstellt, wie man bei der Einwirkung local beschränkter, bloß die Macula lutea treffender Lichtreize nachweisen kann[1].

Sind demnach die durch die Isochromen zur Darstellung gebrachten Unterschiede der Farbenempfindlichkeit der Netzhautregionen an sich von dem Adaptationszustand unabhängige, mit demselben für alle Theile der Netzhaut in gleichem Sinne sich ändernde Eigenschaften, so verhält sich nun dies wesentlich anders mit der außerdem die Netzhautperipherie auszeichnenden größeren Lichtempfindlichkeit. Hier scheint das Uebergewicht der seitlichen Regionen über das Centrum mit dem Fortschreiten des Zustandes der Dunkeladaptation immer entschiedener hervorzutreten; wogegen es bei vollkommener Helladaptation zweifelhaft bleibt, ob überhaupt ein Unterschied vorhanden ist. Demnach bestehen die charakteristischen Eigenschaften der Hell- gegenüber der Dunkeladaptation darin, dass jene die Farben-, diese die Helligkeitsempfindlichkeit für alle Theile der Netzhaut vergrößert, wobei die letztere Veränderung zugleich dahin gerichtet ist, dass sich bei der Helladaptation die Unterschiede der Helligkeitsempfindung der einzelnen Netzhauttheile ausgleichen. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass hiermit noch eine dritte Eigenschaft zusammenhängt, auf die A. E. FICK und GÜRBER hingewiesen haben: das ist die geringere Ermüdbarkeit, die der Netzhaut im Zustand der Tagesadaptation und gegenüber dem weißen Lichte zukommt[2]. Die wesentliche Bedeutung aller dieser Adaptationen wird man demnach darin erblicken dürfen, dass sich bei ihnen die Empfindungsfunctionen nach den Bedürfnissen des Sehens regulirt haben. Diese führen aber beim Sehen im Tageslicht einerseits eine Ausgleichung der Helligkeitsunterschiede, die das Sehen im Dunkeln auszeichnen, anderseits eine feinere Unterscheidung der Farbenunterschiede der Objecte mit sich. Bei diesen Adaptationsvorgängen ist dann zugleich eine functionelle Theilung in dem Sinne eingetreten, dass sich die Netzhautperipherie vorzugsweise an der bei Dunkeladaptation steigenden Lichtempfindlichkeit betheiligt, indess die feinere Farbenempfindlichkeit unter allen Umständen an die

[1] D. SHERMAN, Philos. Stud. Bd. 13, 1897, S. 434.

[2] A. E. FICK und GÜRBER, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 36, 2, 1890, S. 246.

Netzhautmitte gebunden bleibt. Doch weisen die näheren Bedingungen dieser Eigenthümlichkeiten der verschiedenen Netzhauttheile außerdem darauf hin, dass dieselben nicht sowohl an specifische Eigenschaften der Sehelemente, als an graduelle Unterschiede ihrer Function und daneben zum Theil wohl auch an gewisse, besonders bei der Dunkeladaptation in Wirksamkeit tretende Hülfseinrichtungen, wie den vielleicht als Sensibilisator wirkenden Sehpurpur und die wahrscheinlich katoptrische Wirkung der Stäbchenaußenglieder, gebunden sind[1].

Die starken Veränderungen, denen die Erregbarkeitsverhältnisse der Netzhaut in Folge der Adaptation an verschiedene Helligkeiten und besonders der Dunkeladaptation unterworfen sind, haben erst in neuerer Zeit die Aufmerksamkeit der Physiologie auf sich gelenkt. Manche ältere Untersuchungen, auch solche, bei denen das Sehorgan mehr als Beobachtungsmittel denn um seiner eigenen Empfindungen willen in Frage kam, werden daher in Folge der Nichtbeachtung der Adaptationsverhältnisse entwerthet. Es ist ein besonderes Verdienst H. AUBERTS[2], zuerst auf die große Wichtigkeit dieser Erscheinungen hingewiesen zu haben. Die Feststellung ihres Einflusses bei der gewöhnlichen Beobachtung des Spektrums im Dunkeln, der Verhältnisse der bloß localen zur totalen Adaptation, endlich ihrer Beziehung zu den Empfindungsunterschieden der verschiedenen Netzhautzonen u. a. haben sich dann erst allmählich hieran angeschlossen. Im Vordergrund des Interesses standen dabei die Beziehungen des seitlichen Sehens zu den Adaptationsvorgängen, da sie bei dem Vorwiegen der Stäbchen auf den Seitentheilen und dem ausschließlichen Vorkommen von Zapfen in der Macula lutea die Möglichkeit zu eröffnen schienen, der etwaigen functionellen Differenz dieser Elemente auf die Spur zu kommen. Zuweilen hoffte man auch, in den Ergebnissen der Versuche von vornherein entscheidende Instanzen für oder gegen die unten (h) zu erörternden Farbentheorien zu gewinnen. Die älteren Beobachtungen über die Farbenempfindung im indirecten Sehen beschränken sich jedoch durchweg auf einzelne Punkte oder auf wenige Meridiane, so dass es unmöglich ist, aus ihnen eine Vorstellung von dem Verlauf der Isochrome zu gewinnen[3]. Der Erste, der planmäßig ein zusammenhängendes Netz der Isochromen durch zahlreiche Beobachtungen in acht Meridianen zu bestimmen suchte, war KIRSCHMANN[4]. Er bediente sich der Tagesadaptation und möglichst gesättigter Pigmente. Doch hatten schon RÜHLMANN und HESS, die mit den Farben des Spektrums arbeiteten, einen Unterschied zwischen diesen und den Pigmentfarben wahrscheinlich gemacht. Demnach benutzte HELLPACH bei seinen Versuchen mit Dunkeladaptation spektrale Farbentöne, die nach der oben (S. 170) angegebenen Methode künstlich mit Gelatinecombinationen und LIPPICH'schen Strahlenfiltern hergestellt waren. Zur Untersuchung diente

---

[1] Vgl. hierzu Cap. VIII, Bd. 1, S. 428 ff.

[2] H. AUBERT, Physiologie der Netzhaut. 1865, S. 25 ff.

[3] RÜHLMANN, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 20, 1, S. 15. KLUGE, ebend. Bd. 21, 1, S. 251. A. FICK, PFLÜGERS Archiv, Bd. 47, 1890, S. 244. HESS, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 35, 4, S. 1.

[4] A. KIRSCHMANN, Philos. Stud. Bd. 8, 1893, S. 592.

ein Perimeter (Fig. 194), das in erheblich größeren Dimensionen ausgeführt ist, als es die unter diesem Namen in der augenärztlichen Praxis zur Prüfung der Verhältnisse des seitlichen Sehens angewandten Instrumente zu sein pflegen[1]. Es besteht aus einem einen Viertelkreis von 1,10 m Radius darstellenden stählernen Bügel, an dem sich die Lampe h auf einer Kreistheilung verschieben lässt. Dieser zur Einstellung der Lampe dienende Bügel C_1 wird

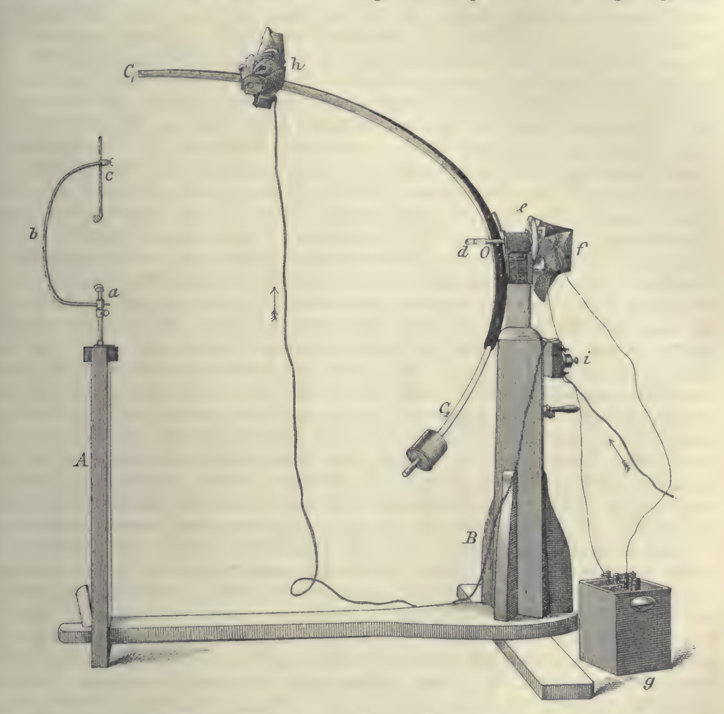


Fig. 194. Perimeter mit Hülfsapparaten für die Reizung mit spektralreinen Farben.

durch den kürzeren Bügel C_2, in den er sich fortsetzt, mittelst eines Laufgewichtes im Gleichgewicht gehalten, so dass er um den Kreismittelpunkt O gedreht und in jeder Stellung festgeschraubt werden kann. Durch denselben Punkt O geht eine kleine, vorn mit durchscheinendem Papier verschlossene

[1] Zuerst von AUBERT (Physiologie der Netzhaut, S. 116) beschrieben, ist das Perimeter unter diesem Namen von A. FÖRSTER in die Praxis eingeführt worden. Es besitzt in seiner gewöhnlichen Form einen Radius von 200 mm und ist in dieser wegen der ungenauen Winkelmessungen, die der kleine Apparat nur zulässt, zu exacteren Versuchen weniger geeignet.

Röhre *d*, die hinten in ein mit einer kleinen Glühlampe ausgerüstetes Kästchen *f* mündet. Von dem Accumulator *g* aus wird diese kleine Glühlampe gespeist und lässt die kleine Fläche *d* als Fixirzeichen im Dunkeln aufleuchten. Die Lampe *h* dagegen enthält eine elektrische Glühlampe von 35 Kerzenstärke, die direct von einem Hochspannungsstrom gespeist wird. Sie trägt vorn, dem Auge des Beobachters zugekehrt, die zuvor spektroskopisch geprüfte Farbenplatte. Die Meridianstellungen des Bügels C_1 werden an dem getheilten Kreis *e*, die Winkelablenkungen der Reizfläche *h* vom Centrum *d* an der Theilung des Bügels abgelesen. Der ganze Perimeterapparat ist endlich auf einem starken Holzpfeiler *B* mittelst einer höher oder tiefer zu stellenden Führung befestigt. Ihm gegenüber befindet sich, auf demselben Fußbrett angebracht, der Pfeiler *A*, auf dem sich die Fixirungsvorrichtung für das beobachtende Auge befindet. Sie besteht aus einer Kinnstütze *a*, einem Bügel *b* und einer Stirnplatte *c*, die sämmtlich verstellt und durch Schrauben befestigt werden können[1]. Die Versuche HELLPACHS wurden in zehn Meridianen, in jedem in Abstufungen von je 10 Graden ausgeführt, so dass sich ein zureichendes Material für die Construction der Isochromen gewinnen ließ. Wie die Fig. 193 zeigt, deren allgemeine Verhältnisse sich mit geringen individuellen Abweichungen an andern Augen wiederholen, geht, abgesehen vom Gelb, das durch seine Beschränkung auf die Macula lutea eine bemerkenswerthe Ausnahmestellung einnimmt, im allgemeinen die Farbenempfindlichkeit für die brechbareren Strahlen (violett und blau) seitlich weniger weit, als für die minder brechbaren (grün, roth und orange). Doch bestätigt sich die auf Grund einer unvollständigeren Ermittelung der Isochromen aufgestellte Behauptung, dass die Grenzen für Complementärfarben, namentlich für roth und grün sowie für gelb und blau, zusammenfallen, durchaus nicht. Vielmehr reicht Blau sehr viel weiter über das auf die Macula beschränkte Gelb hinaus als Violett, und ebenso weichen Grün und Roth ziemlich beträchtlich von einander ab, während Orange durch seine große excentrische Ausdehnung wiederum eine eigenthümliche Ausnahmestellung einnimmt[2]. Weiterhin zeigt die Beobachtung, dass die Farbenempfindung als rein subjectives Phänomen und die Erregbarkeit durch eine bestimmte Farbe in ihrer eigenen Qualität keineswegs zusammenfallen, indem gerade auf den Seitentheilen der Netzhaut unter gewissen Bedingungen bestimmte objective Farben in einer andern als in der ihnen normal zukommenden Qualität empfunden werden können. Insbesondere gehört hierher die Erscheinung, dass eine Farbe, ehe sie jenseits ihrer Isochrome in eine völlig farblose Empfindung übergeht, in einem abgeänderten Farbenton erscheint. Solche »Vorfarben« sind: für Roth und Gelb das Orange, für Grün das Gelb, für Violett das Blau. Gelb, das selbst peripher nicht als Farbe empfunden wird, kommt also in ziemlich excentrischen Theilen der Retina als Vorfarbe vor. Allgemein treten aber als Vorfarben stets solche auf, die auch im Spektrum neben den erregten Farben liegen. Nur bei Purpur, Orange und Blau zeigen sich keine Vor- oder Nebenfarben, sondern dieselben gehen unmittelbar jenseits ihrer Isochrome in farblose Empfindungen über[3].

---

[1] W. HELLPACH, Philos. Stud. Bd. 15, 1898, S. 525 ff.

[2] Uebrigens ist zu bemerken, dass sich die in Fig. 193 dargestellten Isochromen auf Farben von spektraler Sättigung und Helligkeit beziehen. Wie sich der Verlauf derselben gestaltet, wenn alle Farben auf gleiche Helligkeit reducirt werden, steht dahin.

[3] HELLPACH, a. a. O. S. 554. Einige dieser Farbenwandlungen wurden auch schon

Viel später als die Unterschiede der Farben- haben die der Helligkeitsempfindungen im directen und indirecten Sehen genauere Beachtung gefunden, obwohl die gelegentliche Bemerkung der Astronomen, dass man, um sehr lichtschwache Sterne wahrzunehmen, sie nicht fixiren dürfe, deutlich auf diese Unterschiede hinweist. Wenn trotzdem noch AUBERT erklärte, dass er Unterschiede der Lichtempfindlichkeit zwischen centralem und peripherem Sehen nicht finden könne[1], so liegt der Grund dieses Widerspruchs wohl darin, dass sich die astronomischen Beobachtungen auf Dunkeladaptation bezogen, während die Physiologen die Unterschiede zwischen directem und indirectem Sehen zunächst nur bei Helladaptation untersuchten, wo solche zwar für die Farben-, nicht aber für die Helligkeitsempfindung existiren. In Wahrheit sind aber die Unterschiede der letzteren bei der Dunkeladaptation sehr groß, und sie sind zugleich schon nahe dem Netzhautcentrum nachzuweisen, während sie weiter nach der Peripherie hin wieder verschwinden. So fand GUILLERY, dass die Helligkeit 30—35° seitlich vom Netzhautcentrum ihr Maximum erreicht hatte, wobei in diesem Fall, im Gegensatze zu der Farbenempfindung (Fig. 193), die äußeren vor den inneren (nasal gelegenen) Netzhautregionen bevorzugt waren[2]. Am einfachsten lassen sich diese Unterschiede mittelst der Methode der kleinsten empfindbaren Flächen nachweisen, wo die Abnahme dieser bei gleicher Lichtstärke die Zunahme der Empfindlichkeit anzeigt. Doch lassen sich jene auch direct bei constant bleibender Größe der leuchtenden Objecte mittelst der photometrischen Bestimmung der Reizschwelle ermitteln. Auf letzterem Wege fand PERTZ[3], dass der kleinste periphere Schwellenwerth im dunkel adaptirten Auge nur $^1/_{32}$ der centralen Schwelle betrug. Bewegen sich so beim Uebergang vom Centrum nach der Peripherie der Sehfläche die Veränderungen der Farben- und der Lichtempfindlichkeit bis zu erreichtem Maximalpunkt der letzteren in entgegengesetztem Sinne, so rechtfertigt es aber doch die Beobachtung keineswegs, diese entgegengesetzt gerichteten Veränderungen in dem Sinne zugleich zu qualitativen Gegensätzen zwischen Centrum und Peripherie zu steigern, dass, analog wie in den äußersten Regionen nur noch Helligkeitsempfindung, so umgekehrt im Centrum nur noch Farbenempfindlichkeit existire. Ein scheinbarer Gegensatz solcher Art besteht in der That nur so lange, als die einwirkenden Reize eine etwas größere räumliche Ausdehnung besitzen, wo nun allerdings bei Abschwächung der Lichtstärke im Centrum mit der Farbe auch der Lichteindruck verschwindet, während peripher dieser namentlich für die brechbareren Farben noch bestehen bleibt[4]. Verkleinert man aber die Reizflächen, so wird, wie CHARPENTIER mit Recht bemerkt hat, auch im centralen Sehen ein Minimalwerth erreicht, bei dem jede Farbe farblos erscheint[5]. Nur das Roth pflegt dann

---

von KLUG, RÜHLMANN und A. FICK wahrgenommen. Außerdem beobachtete HELLPACH, dass jenseits der farblosen Zone, also im am meisten excentrischen Theil der Netzhaut, die Farben plötzlich wieder schwach farbig, dabei aber in ihren Contrastfarben, also z. B. Blau gelb und Gelb blau, gesehen wurden.

[1] AUBERT, Grundzüge der physiologischen Optik. 1876, S. 195.

[2] GUILLERY, PFLÜGERS Archiv für Physiologie, Bd. 66, 1897, S. 401. Zeitschrift für Psychologie, Bd. 13, 1897, S. 187.

[3] A. PERTZ, Photometrische Untersuchungen über die Schwellenwerthe der Lichtreize. Diss. Freiburg. 1896.

[4] PARINAUD, Annales d'oculistique, t. 92, 1894, p. 228.

[5] CHARPENTIER, Archives d'ophthalmol. t. 16, 1896, p. 332.

noch einen röthlichen Schimmer zu bewahren, dabei aber freilich ebenfalls in seiner Sättigung bedeutend vermindert zu sein.

Indem der Zustand der Dunkeladaptation die Farben- wie die Lichtempfindlichkeit in allen Theilen der Netzhaut offenbar in gleichem Sinne, wenn auch in verschiedenem Grade verändert, und zwar derart, dass er die Farbenempfindung vermindert, die Helligkeitsempfindung vergrößert, steht er nun zugleich mit einigen weiteren Erscheinungen in Beziehung, die mit der Erhellung oder Verdunkelung des Sehfeldes und insofern möglicher Weise mit partiellen oder totalen Adaptationsvorgängen verbunden sein können. Hierher gehört zunächst die Thatsache, dass sich das NEWTON'sche Gesetz der Farbenmischung, wie es nach der Schwerpunktsconstruction durch die Fig. 184 (S. 149) dargestellt wird, verändert, d. h. dass die Farbencurve eine andere Form annimmt, wenn die Lichtstärken der Mischfarben variirt werden. Da nun die Abnahme der Lichtstärke immer zugleich einen gewissen Grad von Dunkel-, die Zunahme einen solchen von Helladaptation bedeutet, so lässt jener Wechsel des Farbenmischungsgesetzes eine doppelte Deutung zu: man kann ihn entweder als eine directe Wirkung der Intensitätsänderungen des Lichtes, oder man kann ihn als eine Folge der veränderten Adaptation betrachten. Im ersten Fall statuirt man mit A. KÖNIG und J. VON KRIES eine Variabilität des Mischungsgesetzes mit der Lichtstärke; im letzteren Fall nimmt man mit HERING und A. TSCHERMAK eine Constanz des Mischungsgesetzes für jeden einzelnen Adaptationszustand an[1]. Da Lichtstärke und Adaptation wie Ursache und Wirkung zusammengehören, so ist dieser Streit an sich eigentlich gegenstandslos und im rein empirischen Sinne überhaupt nicht zu entscheiden. Denn die Aenderungen, die einer gegebenen Variation der Lichtstärke folgen, können immer auch auf die begleitende Adaptation bezogen werden, und Aenderungen der Lichtstärke, bei denen keine merklichen Abweichungen der Adaptation stattfinden, müssen sich in so engen Grenzen bewegen, dass unter dieser Bedingung die von der Lichtstärke herrührenden Abweichungen des Mischungsgesetzes leicht verschwindend klein werden können. Die Frage lässt sich daher überhaupt nur im Zusammenhang mit der Gesammtheit der Erscheinungen, welche die Farbenempfindungen und insbesondere die Farbenmischungen darbieten, mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit beantworten. Nun fällt bei den letzteren vor allem dies in die Augen, dass die Mischungswirkung der Farben zu ihrem Helligkeitswerth in gewissem Grad in einem reciproken Verhältnisse steht: Gelb und Roth, die in der Tagesbeleuchtung hellsten Farben, haben bei dieser die kleinste, Blau und Violett, die dunkelsten, haben umgekehrt die größte Mischungswirkung. Dies kehrt sich um bei stark herabgesetzter Helligkeit: die Helligkeiten der brechbarsten Farben nehmen dann gleichzeitig zu und ihre Mischungswerthe ab, daher denn auch, wie die oben (S. 156) erwähnten Versuche von GLAN lehren, bei gleicher Helligkeit aller Farben die Farbentafel annähernd in einen Kreis überzugehen scheint, indem sich hier die Mischungswerthe aller Farben dem Punkte der Gleichheit nähern. Aus der Gesammtheit dieser Verhältnisse folgt aber, dass aller Wahrscheinlichkeit nach die relative Lichtstärke der verschie-

[1] A. KÖNIG, Ber. der Berliner Akademie, 1896, S. 945. J. VON KRIES, Ber. der naturforsch. Gesellsch. in Freiburg, Bd. 9, 1894, S. 61. , A. TSCHERMAK, PFLÜGERS Archiv, Bd. 70, 1898, S. 297. Bd. 82, 1900, S. 559.

denen Farben als der **primäre** Factor der Aenderungen des Mischungsgesetzes angesehen werden muss. Allerdings machen sich dann diese Aenderungen bei der Dunkeladaptation besonders augenfällig geltend, weil bei ihr die relativen Veränderungen der Helligkeiten der Farben und damit auch die ihnen reciproken der Mischungswirkungen besonders stark hervortreten. Es ist daher unverkennbar, dass bei jener Zurückführung der Veränderungen auf die Adaptation als primäre Ursache die Auffassung der letzteren als eines so zu sagen absoluten, durchgängig durch den Gegensatz zu den Verhältnissen der positiven Lichterregung stehenden Zustandes eine gewisse Rolle gespielt hat. Eine solche absolute Bedeutung hat aber die Adaptation nicht, sondern die Dunkeladaptation ist ein Zustand, der durch alle möglichen Zwischenstufen in die Helladaptation übergeht. Auch noch in einer andern Beziehung hat übrigens wohl die Verwandlung dieses relativen Gegensatzes von Hell und Dunkel in einen absoluten die Auffassung der Erscheinungen beeinflusst. Dies geschah merkwürdiger Weise wiederum in zwei verschiedenen, zu einander gegensätzlichen Anschauungsweisen. Auf der einen Seite wurde der Gegensatz von Dunkel und Hell mit J. VON KRIES auf disparate Functionen der verschiedenen Netzhautelemente, der Stäbchen und Zapfen, zurückgeführt, wo dann, da doch die Netzhautmitte ebenfalls Helligkeiten empfindet, consequenter Weise angenommen werden musste, dass es zwei verschiedene Weißempfindungen gebe, eine, die von den bloß farblos empfindenden Stäbchen, und eine andere, die von den der Farbenmischung unterliegenden Zapfen herrühre[1]. Auf der andern Seite wurde der nämliche Gegensatz, unter der Voraussetzung einer wesentlichen Gleichartigkeit der verschiedenen Netzhautelemente, mit HERING als qualitativ entgegengesetzte Functionsweise derselben bei Hell und Dunkel gedeutet. Nun sollte wiederum die Helligkeitsempfindung im Dunkeln eine andere sein, aber nicht deshalb, weil sie in andern Elementen, sondern weil sie mindestens theilweise in andern Sehstoffen der gleichen Elemente zu stande komme. Demnach nahm man an, die Helligkeit, die zurückbleibe, wenn im Dunkeln bei verminderter Lichtstärke des Eindrucks die Farbe verschwinde, sei etwas ganz anderes als diejenige, die im Hellen die Helligkeit einer Farbe bestimme; und FRANZ HILLEBRAND suchte auf Grund dieser Betrachtungsweise die »specifische«, d. h. die von der beigemischten reinen Helligkeitsempfindung des Weiß unabhängige Helligkeit der verschiedenen Spektralfarben zu ermitteln[2]. Nun beobachtete allerdings HERING, dass sich die Helligkeit eines Grau, das aus Schwarz und Weiß in einem bestimmten Verhältnisse gemischt ist, in verschiedenem Grade zu ändern schien, wenn er, ohne im übrigen die objective Helligkeit zu ändern, verschiedene Farben dem Gemisch zusetzte, indem z. B. die Zumischung von Gelb eine Erhellung, die von Blau eine Verdunkelung hervorbrachte. Dabei ist aber zu beachten, dass die Vergleichung verschiedener Farben auf ihre Helligkeiten sehr unsicher ist; und es mag daher der Umstand, dass wir überhaupt Blau als dunkle und Gelb als helle Farbe zu sehen gewohnt sind, bei dieser Vergleichung eine gewisse Rolle spielen. Wenigstens spricht hierfür, wie GÖTZ MARTIUS bemerkt hat, schon der

---

[1] J. VON KRIES, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 9, 1895, S. 81 ff.

[2] HERING, PFLÜGERS Archiv, Bd. 49, 1891, S. 569. HILLEBRAND, Wiener Akademieberichte, Naturw.-math. Cl. Bd. 98, 1889, S. 29.

Umstand, dass die oben erwähnten indirecten Messungen VIERORDTS über die Helligkeit der Spektralfarben mittelst der Zufügung gleich wirksamer Quantitäten weißen Lichtes mit den directen Vergleichungen FRAUNHOFERS genau übereinstimmen. Zu demselben Ergebnisse führten Versuche von KIRSCHMANN, in denen er die Helligkeitswerthe von Pigmentfarben dadurch bestimmte, dass er dasjenige aus Schwarz und Weiß gemischte Grau aufsuchte, welches, der Farbe beigemischt, keine Helligkeitsänderung derselben herbeiführte. Das nämliche Grau erschien dann stets auch ohne die farbige Beimengung genau in derselben Helligkeit wie die Farbe. Ebenso fanden GÖTZ MARTIUS und KRETZMANN in Versuchen, bei denen sie complementäre Gemische theils direct, theils in den von ihnen erzeugten Nachbildern verglichen, dass die Helligkeit eines solchen Gemisches stets gleich der Helligkeit seiner farbigen Componenten nach Maßgabe ihrer Betheiligung an der Mischung ist. Dieses Ergebniss würde, wenn jede Farbe ihre specifische Helligkeit besäße, unmöglich sein, da in diesem Fall die Helligkeiten der Einzelfarben von denen ihrer complementären Gemische immer im Sinne ihrer specifischen Helligkeit abweichen müssten[1]. Hiernach kann es als zweifellos gelten, dass es eine »specifische« Helligkeit der Farben, d. h. eine solche, die eine jede zu der ihrer farblosen Componente eigenen Helligkeit hinzubringt, nicht gibt. Wenn wir niemals Farbe empfinden können, ohne gleichzeitig Helligkeit zu empfinden, so beruht dies eben darauf, das zwar eine Helligkeitsempfindung ohne Farbe, niemals aber eine Farben- ohne eine Helligkeitsempfindung vorkommt. Auch die gesättigtste Spektralfarbe enthält immer noch diese farblose Componente, wie gerade der Umstand deutlich zeigt, dass das Spektrum bei geringster Lichtintensität in ein farbloses Band übergeht. Daraus ist zu schließen, dass bei jeder Farbenerregung die Helligkeitsempfindung schon bei geringeren Reizstärken beginnt als die Farbenerregung. Die Art, wie diese farblose Componente mit der Steigerung der Lichtintensität zunimmt, ist dann aber wieder für die verschiedenen Farben eine etwas abweichende, wie die Verschiebung des Helligkeitsmaximums im Spektrum und die ihr entsprechenden Thatsachen des PURKINJE'schen Phänomens zeigen.

e. Verlauf und Nachwirkungen der Netzhauterregungen.

Zu den bemerkenswerthesten Eigenthümlichkeiten der chemischen Sinne gehört die, dass die Sinneserregung einen auffallend lang dauernden Verlauf nimmt, indem sie allmählich ansteigt, besonders aber auch lange dauernde Nachwirkungen in der Empfindung zurücklässt (Bd. 1, S. 366). Sehen wir uns jedoch bei den eigentlichen chemischen Sinnen wegen der unsicheren zeitlichen Begrenzung der Reize fast ganz darauf beschränkt, die beträchtliche Dauer der Erregungsvorgänge im allgemeinen festzustellen, so gliedern sich bei dem photochemischen Sinn diese Vorgänge in eine Reihe wohl unterscheidbarer einzelner Erscheinungen.

---

[1] KIRSCHMANN, Philos. Stud. Bd. 6, 1891, S. 462 ff. GÖTZ MARTIUS, Beiträge zur Psychologie und Philosophie, Heft 1, 1896, S. 132 ff. F. KRETZMANN, ebend. S. 120 ff.

Dabei zeigen diese Erscheinungen charakteristische Unterschiede, je nachdem die Lichtreize nur während einer sehr kurzen oder während einer längeren Zeit einwirken, Unterschiede, die in mancher Beziehung an die bei der motorischen Nervenerregung sich darbietenden erinnern: an die nach einem momentanen Reiz rasch vorübergehende Muskelzuckung, und an die der Summirung der Erregungen durch dauernde Reize folgende tetanische Zusammenziehung. (Vgl. Bd. 1, S. 63 ff.)

Lässt man im Dunkeln auf das im Zustand der Dunkeladaptation befindliche Auge einen momentanen Lichtreiz einwirken, wie er z. B. durch das Ueberspringen eines elektrischen Funkens zwischen zwei einander sehr nahen Platinspitzen hervorgebracht wird, so erscheint die Lichtempfindung als eine annähernd momentane. Es folgt ihr aber nach einer sehr kurzen Zeit ein zweiter und manchmal noch nach einer zweiten, gleichen Zwischenzeit ein dritter Lichtblitz, der, obgleich er nur der subjectiven Netzhauterregung angehört, einer objectiven Wiederholung des elektrischen Funkens täuschend ähnlich sieht. Der durch einen momentanen Lichtreiz ausgelöste Erregungsvorgang ist also ein oscillatorischer, der sich, wenn wir uns hierbei der früher für den Wechsel solcher Erregungsphasen angewandten Ausdrücke bedienen, aus einer Anzahl kurz dauernder Erregungen und darauf folgender Hemmungen zusammenzusetzen scheint und demnach, ganz wie das von den entsprechenden Nervenvorgängen galt, auf eine durch den Reiz ausgelöste Wechselwirkung entgegengesetzter Processe mit abwechselndem Ueberwiegen des einen und des andern zurückschließen lässt (Bd. 1, S. 68, Fig. 30). Speciell wird man hier an jene Hemmungen unmittelbar nach abgelaufener Zuckung erinnert, denen ebenfalls ein Wiederansteigen der Erregbarkeit zu folgen pflegt (ebend. S. 67). Beobachtet man nun aber aufmerksam die Phasen, die zwischen den oscillatorischen Erregungen liegen, so bemerkt man häufig, dass auch sie nicht ganz empfindungsleer sind, sondern dass zwischen dem ersten und zweiten Lichtblitz an der Stelle der Lichterregung eine größere Verdunkelung und in ihrer Umgebung eine schwache diffuse Erhellung des Gesichtsfeldes wahrzunehmen ist[1]. Die Erscheinung dieser entgegengesetzten Phasen wird auffallender, wenn der Lichtreiz selbst rasch von einer Netzhautstelle zu einer andern bewegt wird, womit dann immer zugleich eine schwache dauernde Beleuchtung des Gesichtsfeldes verbunden ist: so z. B. wenn man ein Stück leuchtender Kohle bewegt oder das annähernd punktförmige Reflexbild eines kleinen Spiegels sehr schnell über die Netzhaut führt. Man sieht dann

[1] FECHNER, Psychophysik, Bd. 2, S. 310. BOSSCHA, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 40, 1, 1893, S. 22. C. HESS, PFLÜGERS Archiv, Bd. 49, 1891, S. 190 ff. Archiv für Ophthalmologie, Bd. 40, 2, 1894, S. 259.

dem Lichteindruck zuerst einen stark verdunkelten Schweif folgen, dem sich aber auch hier ein Wiederaufleuchten des Bildes anschließen kann[1]. Ist der kurz dauernde Lichteindruck sehr intensiv, so gestalten sich endlich, falls er aus gemischtem Lichte besteht, die Nachwirkungen dadurch noch verwickelter, dass der oscillatorische Process offenbar für die verschiedenen Farben ein abweichendes Phasenverhältniss besitzt. Es entsteht so das »farbige Abklingen« der Lichtreize. Dabei geht insgemein die Empfindung Weiß des primären Eindrucks zuerst in Blau, dann in Grün und endlich in Roth oder Rothgelb über[2]. Daraus schließt man, dass die verschiedenen Farbenerregungen, die sich beim primären Eindruck des Weiß compensiren, in verschiedener Weise abklingen, indem die photochemische Wirkung der rothen Strahlen rascher sinkt, aber länger dauert als die der rothen[3]. Doch ist möglicher Weise auch die Dunkeladaptation von Einfluss, welche die Wirkung des Blau relativ begünstigt, dafür aber freilich auch, wie die Versuche mit annähernd punktförmigen Reizen lehren (S. 176), das Blau, nicht das Roth, sehr rasch in Weiß übergehen lässt.

Verwandt diesen Erscheinungen sind diejenigen, die im Hellen bei abwechselnden Lichtreizen von kurzer Dauer eintreten. Sie lassen sich am einfachsten mittelst der rotirenden Scheiben hervorbringen. Man setze eine solche Scheibe aus abwechselnden schwarzen und weißen Sectoren zusammen, und wähle die Breite dieser, wie in Fig. 195, von verschiedener Breite, aber so, dass überall die Mengen Weiß und Schwarz die gleichen bleiben (z. B. je = 180°), während die Intervalle, in denen die Eindrücke einander folgen, kürzer oder länger sind. Dann bemerkt man bei hinreichend rascher Rotation der Scheiben jene völlig gleichförmige Mischung zu Grau, wie sie allen bisher geschilderten Anwendungen dieser Scheiben zu Mischungsversuchen zu Grunde liegt. Lässt man aber die Scheibe zuerst nur ganz langsam rotiren, um hierauf allmählich



Fig. 195. Scheibe mit verschiedener Vertheilung gleicher Mengen von Weiß und Schwarz.

[1] CHARPENTIER, Archives de physiol. norm. et path. (5) t. 4, 1892, p. 541, 628. BIDWELL, Proc. of the roy. soc. vol. 56, 1894, p. 132. VON KRIES, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 25, 1900, S. 239. HESS, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 51, 1900, S. 225.

[2] FECHNER, POGGENDORFFS Annalen, Bd. 50, 1840, S. 220 ff.

[3] HELMHOLTZ, Physiol. Optik[2], S. 521 ff.

ihre Geschwindigkeit zu steigern, so gehen der gleichmäßigen Mischung folgende Erscheinungen voran, die sich successiv ablösen. Zuerst, bei geringer Geschwindigkeit, erkennt man noch deutlich in Fig. 195 alle einzelnen Sectoren, nur ihre Ränder erscheinen etwas verwaschen. Dann breitet sich über die weißen ein grauer und über die schwarzen ein weißlicher Schimmer aus, der an den Grenzlinien beginnt und mit der Entfernung von ihnen abnimmt. Endlich, bei noch weiter gesteigerter Schnelligkeit, fließen die Eindrücke zunächst im äußeren Theil der Scheibe, wo je vier weiße und schwarze Sectoren abwechseln, zusammen, hierauf auch die im mittleren, und zuletzt die im inneren, so dass nun erst die ganze Scheibe gleichförmig grau gesehen und von der verschiedenen Vertheilung des Weiß und Schwarz in den drei auf einander folgenden Ringen nichts mehr bemerkt wird. Sobald die vollkommene Mischung der beiden Helligkeiten oder Farben eingetreten ist, werden also die resultirenden Empfindungen nur noch durch die Gesammtsummen der mit einander abwechselnden Eindrücke bestimmt, sind aber von der Geschwindigkeit, mit der sie auf einander folgen, innerhalb ziemlich weiter Grenzen unabhängig. Ist die Intensität des einwirkenden weißen Lichtes $= i$, und ist der gesammte Raumwerth der weißen Sectoren $= a$, der schwarzen $= b$, so wird daher jetzt die über die ganze Scheibe ausgebreitete Helligkeit durch den Quotienten $\frac{ia}{a+b}$ gemessen. Dieses zuerst von TALBOT formulirte und nach ihm unter dem Namen des »TALBOTschen Gesetzes« bekannte Mischungsprincip bleibt jedoch nur bei Geschwindigkeiten gültig, die der zum Eintritt der vollständigen Mischung erforderlichen Dauer von etwa 0,04 Sec. für die Periode $a + b$ nahe liegen. Bei größeren Geschwindigkeiten werden, wahrscheinlich in Folge der nun eintretenden Superposition der Maximalpunkte der Erregung, Abweichungen in der Richtung einer gesteigerten Reizung beobachtet, deren nähere Bedingungen noch der weiteren Untersuchung bedürfen[1]. Ebenso gilt die angegebene Grenzgeschwindigkeit von 0,04 Sec. nur für die mittlere Lichtstärke diffuser Tagesbeleuchtung; sie sinkt aber mit der Abnahme, und sie steigt mit der Zunahme der Helligkeit, so dass bei der Beleuchtung einer rotirenden Scheibe wie Fig. 195 mit directem Sonnenlicht die Sectoren bei Geschwindigkeiten, bei denen sie sich sonst zu einem gleichförmigen Grau vermischen, noch stark flimmernd erscheinen. Daraus folgt, dass eine sehr intensive Erregung verhältnissmäßig schneller wieder sinkt

---

[1] Vgl. hierzu besonders die Arbeiten von BRÜCKE (Wiener Sitzungsber. [3] Bd. 49. 21. Jan. 1864), MARBE (Philos. Stud. Bd. 9, 1894, S. 384. Bd. 12, 1896, S. 279. Bd. 13, 1897, S. 106) und SCHENCK (PFLÜGERS Archiv, Bd. 64, 1896, S. 165. 607. Bd. 68, S. 32. Bd. 77, S. 44. Bd. 82, 1900, S. 192).

als eine minder intensive. Zugleich zeigt sich jedoch bei jener stärksten Beleuchtung farbloser, aus schwarzen und weißen Sectoren bestehender Scheiben noch eine andere Erscheinung, die an das oben beschriebene farbige Abklingen kurz dauernder Erregungen im dunkeln Gesichtsfeld erinnert. Bei einer mäßigen Geschwindigkeit der Rotation tritt nämlich ein farbiges Flimmern auf: jedem schwarzen Sector geht eine röthliche Färbung voran, und folgt eine bläuliche nach, worauf sich bei etwas größerer Geschwindigkeit die röthliche Färbung über die weißen, die blaue über die schwarzen Sectoren mehr und mehr ausdehnt, so dass in einem gewissen Stadium überhaupt nur noch Farben gesehen werden[1]. Diese Erscheinungen pflegt man ebenfalls auf das verschiedene Abklingen der das weiße Licht zusammensetzenden Farben zurückzuführen[2]. Doch dürften auch hier die Adaptationsverhältnisse eine Rolle spielen, wie der Umstand vermuthen lässt, dass von einer gewissen Geschwindigkeit an bei sonst sehr abweichender Sectorenbreite Blau und Grün stets auf die schwarzen, Roth und Gelb auf die weißen Sectoren fallen, in den momentan verdunkelten Theilen des Gesichtsfeldes also die bei der Dunkeladaptation, in den erhellten die bei der Helladaptation wirksamen Farben gesehen werden.

Alle die bisher geschilderten Erscheinungen kurz dauernder Lichtreizung lassen sich zu dem allgemeinen Satze zusammenfassen, dass jeder Lichtreiz eine Nachwirkung hinterlässt, die zunächst als ein der ursprünglichen Lichterregung gleicher Empfindungszustand zurückbleibt, um dann in eine Reaction von im allgemeinen entgegengesetzter Helligkeits- und Farbenbeschaffenheit überzugehen. Bei momentanen Lichteindrücken modificirt sich dieses Gesetz des Wechsels noch dadurch, dass die Erregung ein oscillirender Vorgang ist, wodurch theils die beiden Erregungsphasen in zwei- oder mehrmaligem Wechsel auf einander folgen, theils auch, bei farbigen Lichteindrücken, wechselnde Farbenempfindungen nachfolgen können. Jene beiden Hauptphasen der Erregung, die ohne Zweifel jedem Vorgang der Lichtreizung folgen, wenngleich die zweite unter Umständen wegen ihrer meist geringeren Intensität der Beachtung entgehen kann, bewegen sich nun aber, da die Lichtempfindung im allgemeinen die beiden Componenten der Helligkeits- und der Farbenerregung enthält, zwischen Gegensätzen von doppelter Art: zwischen den Gegensätzen der Helligkeit, Hell und Dunkel, und zwischen jenen Gegensätzen der Farbe, die in der unmittelbaren Empfindung Farben größter Unterschiede des Farbentons und bei den Mischungsphänomenen complementär zu einander sind. Nun

---

[1] FECHNER, POGGENDORFFS Annalen, Bd. 45, 1838, S. 227.
[2] HELMHOLTZ, a. a. O. S. 530 ff.

pflegt man jede nach der Einwirkung eines Lichtreizes während einer kürzeren oder längeren Zeit zurückbleibende Netzhauterregung als ein *Nachbild* zu bezeichnen. Demnach lassen sich *Helligkeitsnachbilder* und *Farbennachbilder* von entgegengesetzten Phasen unterscheiden. Bei den ersteren hat man die Gegensätze der Phasen als *positive* und *negative*, bei den letzteren als *gleichfarbige* und *complementäre* Nachbilder unterschieden. Geht man davon aus, dass Helligkeitserregungen bei jeder Lichtreizung vorhanden sind, während Farbenerregungen fehlen können, so ergibt sich demnach das folgende System möglicher Nachwirkungen:

Nachbilder

Positive — Negative

Gleichfarbige (Complementäre) — (Gleichfarbige) Complementäre

Erfolgt die Reizung durch weißes Licht, so fallen die farbigen Nachbilder hinweg: das positive Nachbild bildet dann die erste, das negative die zweite Phase der Nachwirkung. Sind die Reize farbig, so sind in der Regel die positiven Nachbilder gleichfarbig, und die negativen complementär. Doch können die in dem obigen Schema durch Klammern angedeuteten Combinationen dann vorkommen, wenn die im Folgenden (f) zu beschreibenden Wirkungen des Contrastes zu den Nachbildwirkungen hinzutreten.

Das obige Schema erweist sich nun vor allem auch für die Ordnung derjenigen Erscheinungen nützlich, die bei *länger dauernder Einwirkung der Lichtreize* eintreten, indem in diesem Fall manche der oben geschilderten Nebenphänomene, wie die oscillirenden Erregungen, das farbige Abklingen, hinwegfallen, so dass sich die Erscheinungen ausschließlich zwischen den verschiedenen Arten der Nachbilder und ihrer Phasen bewegen. Im allgemeinen aber sind diese Wirkungen länger dauernder Lichtreize offenbar als *Summationen* der bei kurz dauernden beobachteten Wirkungen und Nachwirkungen der Erregung aufzufassen. Die verschiedenen Phasen der Nachbilder bieten sich hier dann am deutlichsten, wenn man eine farbige Fläche von großer Lichtintensität und Sättigung im halb verdunkelten Raum während einiger Zeit fixirt und hierauf an ihre Stelle plötzlich eine farblose Fläche von mäßiger Helligkeit bringt oder das Auge nach einer solchen hinbewegt. Man bemerkt dann in der Regel zuerst das sehr kurz dauernde gleichfarbige, und hierauf das länger dauernde complementäre Nachbild. Der Uebergang des einen in das andere wird beschleunigt, wenn der nachfolgende Lichteindruck eine nicht zu geringe Helligkeit besitzt. Am deutlichsten und dauerndsten sind daher die positiven und gleichfarbigen Nachbilder

im dunkeln Gesichtsfeld des geschlossenen Auges nach kurz dauernder Einwirkung des Reizes, während in diesem Fall umgekehrt die complementären Nachbilder sehr schwach sind und rasch verschwinden. Dagegen werden die negativen Nachbilder durch längere Lichteinwirkung befördert, und sie können hierbei je nach den sonstigen Bedingungen sowohl positiv wie negativ sein: positiv, indem sie in gleicher oder scheinbar größerer Helligkeit wie der ursprüngliche Eindruck, negativ, indem sie in verminderter Helligkeit gesehen werden. Doch sind die complementären Nachbilder in der Regel negativ. Positive kommen nur im dunkeln Gesichtsfelde zur Beobachtung. Betrachtet man z. B. eine helle Flamme durch ein rothes Glas lange genug, damit das gleichfarbige Nachbild nicht auftreten kann, und schließt man nun das Auge, so erscheint auf dem dunkeln Grund des Gesichtsfeldes ein intensiv grünes Nachbild der Flamme. Oeffnet man das Auge und sieht auf eine weiße Fläche, so wird das Nachbild augenblicklich verdunkelt. Dieselbe Netzhautstelle, die bei schwacher Lichtreizung scheinbar eine gesteigerte Erregbarkeit erkennen lässt, zeigt demnach bei starker Lichtreizung eine verminderte: in beiden Fällen aber wird gemischtes Licht in dem zur ursprünglichen Farbe complementären Tone gesehen. Offenbar muss also in Bezug auf die Erregbarkeit für die verschiedenen Farbestrahlen des gemischten Lichtes jedesmal der nämliche Zustand bestehen. Dass trotzdem das Nachbild hell auf dunkelm Grunde erscheint, lässt sich aber auf den Contrast beziehen, der überall bei diesen Versuchen die Helligkeitsverhältnisse von Bild und Umgebung bestimmt. Ein farbiges Object auf gleichmäßig grauem Grund erscheint nämlich durch den Contrast heller, der Grund dunkler, als sie in Wirklichkeit sind (vgl. unten f). Hieraus erklärt es sich ohne weiteres, dass positiv complementäre Nachbilder nur bei geschlossenem Auge oder im Dunkeln wahrnehmbar sind, alsbald aber in negative überspringen, wenn eine stärkere Erleuchtung des Gesichtsfeldes eintritt. Durch diesen Wechsel werden jedoch nur die Bedingungen des Contrastes, keine der sonstigen die Empfindung bestimmenden Verhältnisse geändert. Die günstigsten Bedingungen für die Entstehung langdauernder negativer und complementärer Nachbilder sind hiernach immer dann vorhanden, wenn die primären Lichteindrücke eine längere Zeit auf das möglichst starr fixirende Auge einwirken. Auch die Bewegungen des Auges lassen sehr leicht die Nachbilder verschwinden, was wohl zumeist von der durch den Wechsel der Eindrücke eintretenden Störung der Aufmerksamkeit, vielleicht aber auch zum Theil von einer directen physiologischen Wirkung der Augenbewegungen herrührt[1].

---

[1] A. E. Fick und Gürber (Archiv für Opthalmologie, Bd. 36, 2, 1890, S. 245 ff.) vermuthen, dass der Blut- oder Lymphstrom durch die Bewegung gesteigert und so die

Bezeichnet man mit BRÜCKE den ursprünglichen Lichtreiz als das erregende oder inducirende Licht, den bei den bisher geschilderten Beobachtungen nachher einwirkenden farblosen Eindruck, auf dem sich das Nachbild entwickelt, als das reagirende Licht, so muss demnach stets reagirendes Licht vorhanden sein, damit das ursprünglich gleichfarbige in ein complementäres Nachbild übergehen könne. In Wahrheit ist das auch bei den im Dunkeln oder bei geschlossenem Auge auftretenden positiven oder negativen complementären Nachbildern der Fall, da im Dunkeln ebenfalls fortwährend schwache Lichterregungen stattfinden, die dann beim Schließen des Auges durch den dabei stattfindenden Druck verstärkt werden. Hieraus erklärt sich zugleich, dass selbst im absoluten Dunkelraum die Nachbilder bei offenem Auge bei weitem nicht so intensiv sind wie bei geschlossenem. Statt des farblosen kann nun aber auch ein beliebig farbiger Reiz als reagirendes Licht wirksam werden. Das complementäre Nachbild erscheint dann immer nur in dem Sinne verändert, in welchem die Beimengung der Farbe auch einen dem Nachbilde gleichenden objectiven Eindruck verändern würde. So erscheint z. B. Violett nach der Einwirkung eines rothen Urbildes bläulichgrün, Roth nach der Einwirkung eines blauen röthlichgelb, u. s. w. Eine Spektralfarbe kann auf diese Weise, wenn sie als reagirendes Licht zu dem Nachbild ihrer Complementärfarbe verwendet wird, in überspektraler Sättigung erscheinen.

Im ganzen beruhen hiernach die Nachbilderscheinungen hauptsächlich auf drei Momenten, die in verschiedenen Fällen bald gemischt, bald von einander isolirt zur Geltung kommen: erstens auf dem direct durch den Lichtreiz hervorgerufenen Erregungsvorgang, der den Reiz immer merklich überdauert; zweitens auf der veränderten Reizbarkeit der Netzhaut, die, nachdem der Erregungsvorgang vorüber ist, eine kürzere oder längere Zeit zurückbleibt; dazu kommt dann drittens noch unter bestimmten, unten näher zu erörternden Bedingungen der Contrast der Empfindungen. Die veränderte Reizbarkeit verursacht unter allen Umständen das complementäre Nachbild, sei es negativ oder positiv; das unmittelbare Fortwirken der Erregung kommt als gleichfarbiges Nachbild zur Erscheinung; der Contrast bestimmt hauptsächlich die größere oder geringere Intensität, in der sich die Nachwirkungen der Erregung geltend machen.

Entfernung der erzeugten Zersetzungsstoffe begünstigt werde. Dazu ist freilich zu bemerken, dass nicht unter allen Umständen, sondern nur dann, wenn sie mit einem Wechsel der Eindrücke verbunden ist, die Bewegung die Entwicklung der complementären Nachbilder hemmt. Vgl. hierzu HERING, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 37, 3, 1891, S. 1 ff., und A. E. FICK, ebend. Bd. 38, 1, 1892, S. 118. Auf die Bedeutung der Aufmerksamkeit haben GÖTZ MARTIUS (Beiträge zur Psychologie und Philosophie, Heft 1, 1896, S. 17 ff.) und W. WIRTH hingewiesen, wobei der letztere zugleich zeigte, dass dieses Moment nicht den Empfindungswerth der Nachbilder selbst, sondern nur die Bedingungen ihrer Auffassung verändert (Philos. Stud. Bd. 16, 1900, S. 477 ff.).

Indem nun die unmittelbaren Wirkungen wie die Nachwirkungen der Netzhauterregung in Folge des Ineinandergreifens dieser verschiedenen Momente sehr wechselnde Erscheinungen sind, entziehen sie sich zumeist einer genaueren quantitativen Bestimmung ihrer Intensitäts- und Zeitverhältnisse; und dies um so mehr, weil man sich, um solche vorzunehmen, immer wieder auf subjective Vergleichungen angewiesen sieht, die den gleichen variabeln Bedingungen ausgesetzt sein können. Demnach lassen nur zwei Probleme vorläufig approximative Lösungen zu: das eine betrifft das Ansteigen der Erregung nach Einwirkung des Lichtreizes, das andere die Intensität und den Verlauf der negativen und complementären Nachbilder. Bei der zweiten dieser Aufgaben sind wir übrigens auf die Erfolge länger dauernder Reizwirkungen angewiesen, da die oben geschilderten Nachbilderscheinungen nach kurz dauernden Reizen zu flüchtig sind, um eine genauere Verfolgung zu gestatten. Auf Lichtreize von längerer Dauer bezogen ergänzen sich aber beide Probleme derart, dass sie zusammen den ansteigenden wie den absteigenden Verlauf einer solchen Erregung umfassen.

Das Ansteigen der Lichterregung ist einer directen Messung nicht zugänglich, da uns keine Hülfsmittel zu Gebote stehen, die Netzhauterregung selbst von Moment zu Moment zu verfolgen. Wohl aber können wir darüber Aufschluss gewinnen, wie lange eine äußere Lichtreizung dauern muss, um eine bestimmte Intensität der Empfindung hervorzubringen, der wir dann den Grad der Netzhauterregung aller Wahrscheinlichkeit nach proportional setzen dürfen. Die Empfindung selbst können wir hierbei freilich wiederum nur messen, indem wir sie mit andern Empfindungen, namentlich mit solchen von gleicher oder eben merklich verschiedener Intensität, vergleichen. Nach diesem Princip haben Exner, Kunkel und Ernst Dürr den ansteigenden Theil der Curve der Lichterregung zu ermitteln gesucht[1]. Die Versuche von Dürr unterscheiden sich von denen der früheren Beobachter dadurch, dass er nicht zwei kurz dauernde Lichtwirkungen mit einander, sondern eine kurz dauernde mit einer länger dauernden verglich, wodurch, wie mannigfache Abänderungen der Versuche zeigten, die Vergleichungen wesentlich an Sicherheit gewannen. Denken wir uns, um das Princip dieser Versuche zu verdeutlichen, ein Lichtreiz R_n, den wir, weil er als Maßstab der zu untersuchenden Erregung dienen soll, den Normalreiz nennen wollen, wirke bei einem bestimmten Zeitpunkt a ein (Fig. 196). Einen zweiten, auf eine benachbarte Netzhautstelle fallenden Reiz R_v, den wir den Versuchsreiz nennen wollen,

---

[1] S. Exner, Wiener Sitzungsber., math.-naturw. Cl. Bd. 58, 1868, S. 601. Kunkel, Pflügers Archiv, Bd. 9, 1875, S. 197. Dürr, Philos. Stud. Bd. 18.

und den der Normalreiz stets an Intensität übertreffen muss, lassen wir dann in einem andern etwas späteren Zeitpunkt b oder c oder d . . . einwirken. Die Zeiträume ab, ac, ad . . . werden nun so gewählt, dass die Erregungscurve R_n jedenfalls ihr Maximum bereits erreicht oder überschritten hat, wenn R_v einwirkt. Der Versuchsreiz R_v wirkt ferner jedesmal nur während einer relativ kurzen Zeit, die dadurch begrenzt wird, dass in einem bestimmten Moment beide Lichtreize aufgehoben werden. Man ermittelt dann denjenigen Zeitpunkt c für den Anfang des Reizes R_v, wo die von R_n und R_v herrührenden Lichtempfindungen vollkommen gleich erscheinen. Bei diesem Punkte m muss der Maximalpunkt der Curve R_v die Höhe der Curve R_n erreichen. Die Zeitdistanz cc' wird also der Zeit entsprechen, während deren der Reiz R_v einwirken muss, um das Maximum der ihm möglichen Erregung hervorzubringen. Bei

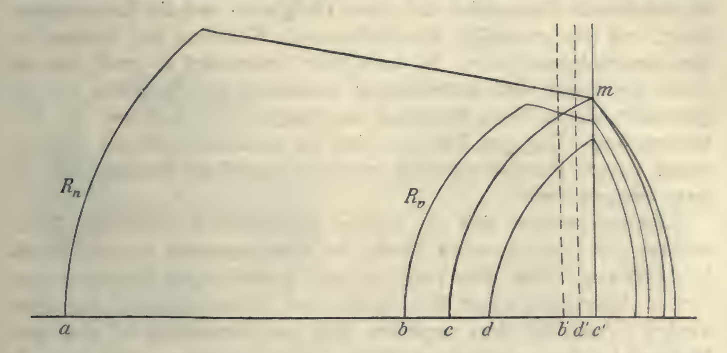


Fig. 196. Schema der Versuche zur Bestimmung der Zeit des Maximums der Lichterregung.

jedem andern Punkt, z. B. bei b oder d, erscheint R_v lichtschwächer als R_n, bei b, weil die Curve R_v im Moment b' der Reizunterbrechung bereits wieder von ihrem Maximum sinkt, bei d, weil im Moment d' das Maximum noch nicht erreicht ist. Variirt man nun in verschiedenen Versuchsreihen die absoluten und relativen Lichtstärken von R_n und R_v, und führt man die Bestimmungen bei weißem wie bei monochromatischem Licht aus, so lassen sich auf diese Weise Vergleichswerthe der Reizdauer gewinnen, von denen man annehmen darf, dass sie den Zeiten zwischen dem Eintritt des Lichtreizes und der Erreichung des Maximalpunktes der Erregung entsprechen werden. Die so ausgeführten Beobachtungen ergaben bei verschiedenen Lichtstärken die folgenden mittleren Zeitwerthe für den ansteigenden Theil cc' der Erregungscurve in Tausendtheilen einer Sec.:

Weiß	Roth	Gelb	Grün	Blau
268	530	533	531	521

Diese Zahlen zeigten sich in weitem Umfang unabhängig sowohl von der Lichtstärke, wie von der Hell- oder Dunkeladaptation. Bei der letzteren besteht nur der Unterschied, dass die Intensitätsdifferenz zwischen Normal- und Vergleichsreiz sehr viel größer gewählt werden muss. Während sich bei Helladaptation das Verhältniss 2:1 bis 5:2 als das günstigste erwies, wurde ein solches bei Dunkeladaptation erst bei 27:4 bis 23:4 erreicht. Der Zustand der Adaptation ändert also nicht den zeitlichen Verlauf der Erregung; wohl aber ändert er die relative Größe derselben, indem bei der Dunkeladaptation die Reizwirkungen schwächerer Lichtreize im Verhältniss zu denen stärkerer viel größer sind als bei Helladaptation. Um so bemerkenswerther ist der bei allen Adaptationsstufen und Lichtstärken wiederkehrende Unterschied der reinen Helligkeits- und der Farbenempfindung, und das wesentlich übereinstimmende Verhalten der letzteren bei den verschiedenen Farben. Ist doch jener Unterschied so groß, dass die Curve der reinen Helligkeitserregung annähernd nur die Hälfte der Zeit gebraucht, um zu ihrem Maximum zu gelangen, wie die Curve der Farbenerregung. Dagegen bewegen sich die Schwankungen der verschiedenen reinen Farbenerregungen zwischen denselben Grenzen wie die einer einzigen Farbe[1].

Anders gestaltet sich die zweite quantitative Aufgabe: die Untersuchung des absteigenden Theiles der Erregungscurve oder der Nachbildwirkung. Von dem positiven und gleichfarbigen Nachbilde muss hier in Anbetracht seiner Flüchtigkeit und Veränderlichkeit abgesehen werden. Auch bei dem negativen und complementären ist aber eine Messung in den verschiedenen Stadien seines Verlaufes natürlich nur in dem Sinne möglich, dass man seine Helligkeit oder Farbe in einem bestimmten Moment mit der Helligkeit und Farbe eines andern Eindrucks vergleicht. Macht man nun diesen Vergleichsreiz derart veränderlich, dass er auf Gleichheit mit dem Nachbilde eingestellt werden kann, so sind die Bedingungen gegeben, um das letztere in jedem Augenblick seines Verlaufs in objectiv bestimmten Helligkeits- und Farbenwerthen zu messen. Das zweckmäßigste Hülfsmittel hierzu bieten wieder die rotirenden Scheiben, die man sowohl in auffallendem Licht für Pigmentfarben wie, nach der früher (S. 170) beschriebenen Methode, in durchfallendem für Farben von spektraler Reinheit und Sättigung anwenden kann. Am einfachsten bedient man sich dazu combinirter Farbenkreisel, die aus zwei Ringen, N und V Fig. 197, bestehen, von denen einer, z. B. der innere N, in jedem Versuch

[1] E. Dürr, Philos. Stud. Bd. 18, Heft 2.

ein constantes Sectorenverhältniss beibehält, während der äußere V einem Kreisel mit während der Rotation verstellbaren Sectoren angehört (Bd. 1, Fig. 153, S. 524). A veranschaulicht die Einrichtung für reine Helligkeitsnachbilder, B die für farbige Nachbilder. In beiden Figuren wollen wir den inneren Ring N als den Nachbildring, den äußeren V als den Vergleichsring bezeichnen. In A bestehen N und V aus schwarzen und weißen Sectoren, die in N ein festes Verhältniss mit überwiegendem Weiß, in V ein variirbares mit überwiegendem Schwarz zeigen. In B bestehen sie aus farbigen Sectoren, und zwar N aus einfarbigen (z. B. rothen), V aus je zwei complementärfarbigen (z. B. rothen und grünen) in einem Verhältniss, in dem sie sich zu Weiß aufheben, indess die Helligkeit der beiden Ringe die gleiche ist. Bei der Rotation fixirt man nun, um ein möglichst ruhendes Nachbild zu erhalten, eine bestimmte Stelle nahe

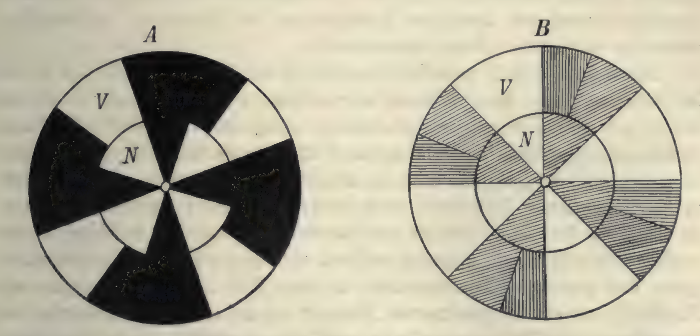


Fig. 197. Rotirende Scheiben mit unabhängig veränderlichen Sectoren zur Messung der Nachbildwirkung.

dem Mittelpunkt der Scheibe N. Dann entwickelt sich ein Nachbild, das sich mit der Dauer der Reizwirkung allmählich verändert, und das sich, wenn N fortwährend fixirt wird, in A als eine Helligkeits-, in B als eine Farbeabnahme des Urbildes bemerklich macht. Schiebt man dagegen vor das Object plötzlich einen Schirm, so wird dieser zum reagirenden Lichtreiz, und je nach der Helligkeit oder Farbe, die man dem Schirm gibt, kann nun das Abklingen des Nachbildes auf verschiedenen reagirenden Flächen beobachtet werden. In dem Augenblick, für welchen der Helligkeits- oder Farbengrad des Nachbildes bestimmt werden soll, stellt man die variabeln Sectoren des Ringes V so ein, dass dieser dem inneren Kreis gleich erscheint. Dann entspricht die Sectorendifferenz zwischen N und V der Größe der Nachbildwirkung oder, wenn, wie das

bei farblosen Erregungen stets der Fall ist, der dunkle Ring *V* eine entgegengesetzte Wirkung hervorbringt, der Differenz dieser Wirkungen, die aber im allgemeinen der Nachbildwirkung von *N* proportional sein muss. Im übrigen unterscheiden sich die Messung des Helligkeitsnachbildes in *A* und die des Farbennachbildes in *B* nur dadurch von einander, dass man bei *A* in dem Ring *V* dasjenige Verhältniss zwischen Schwarz und Weiß herstellt, das dem Kreis *N* oder seinem Nachbilde gleich erscheint, während man in *B* den einen der complementärfarbigen Sectoren so lange über den andern schiebt, bis *V* mit *N* oder (bei der Projection auf eine andere reagirende Fläche) mit dem Nachbilde von *N* gleichfarbig gesehen wird. Die auf solche Weise auszuführenden Messungen können sich dann eine doppelte Aufgabe stellen. Sie können 1) den Zeitverlauf der Nachbildwirkung unter wechselnden Bedingungen verfolgen; und sie können 2) die Intensität derselben zu verschiedenen Zeiten in ihrer Abhängigkeit von den sonstigen Bedingungen der Erregung, insbesondere von dem reagirenden Reiz untersuchen[1].

Hierbei zeigt sich zunächst hinsichtlich des Zeitverlaufs der Nachbildwirkung, dass diese während der ersten 10 Secunden sehr rasch ansteigt, um darauf, vorausgesetzt dass die erregende Helligkeit oder Farbe fortdauernd einwirkt, immer langsamer in einer annähernd hyperbolischen Curve zu wachsen, bis sie endlich, ähnlich der Adaptation an eine gleichmäßig andauernde Helligkeit oder Farbe, ganz zum Stillstande kommt. In der That ist dieser Verlauf der Nachbilderregung bei fortdauernd einwirkendem Reiz offenbar nichts anderes als ein partieller Adaptationsvorgang der gereizten Netzhautstelle an den Reiz[2]. Wird dagegen das Nachbild von einem bestimmten Moment an auf eine andere Fläche von abweichender Helligkeit oder Farbe projicirt, so erfolgt der Rückgang der Nachbilderregung mit ähnlich abnehmender Geschwindigkeit. Zugleich übt aber jetzt das reagirende Licht einen mitbestimmenden Einfluss aus, indem das Nachbild um so rascher schwindet, je mehr seine Helligkeit oder Farbe von dieser reagirenden Fläche sich abhebt. Außerdem zeigen die Farbennachbilder durchweg einen schnelleren Verlauf als die reinen Helligkeitsnachbilder, und in der Peripherie der Netzhaut verschwinden sie rascher als im Centrum derselben[3].

Die Intensität der in einem gegebenen Moment vorhandenen

---

[1] W. Wirth, Philos. Stud. Bd. 16, 1900, S. 539 ff. Bd. 17, 1901, S. 333 ff. Ueber andere, im Princip mit der oben geschilderten übereinstimmende Versuchsanordnungen vgl. ebend. Bd. 16, S. 504 ff. Bd. 17, S. 353 ff.

[2] C. F. Müller, Versuche über den Verlauf der Netzhautermüdung. Dissert. Zürich. 1866. J. von Kries, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 23, 2, 1877, S. 1 ff.

[3] W. Wirth, Philos. Stud. Bd. 16, S. 531 ff. Bd. 17, S. 378 ff. A. Walther, Pflügers Archiv, Bd. 77, 1899, S. 53.

Nachbildwirkung ist nun, außer von diesem Zeitverlauf der Erregung, wesentlich abhängig von dem reagirenden Licht der Fläche, auf der das Nachbild gesehen wird. Für dieses Verhältniss tritt aber bei dem Helligkeits- wie bei dem Farbennachbild mit großer Annäherung überall dieselbe Gesetzmäßigkeit ein, die bei den früher (Bd. 1, S. 468 ff.) erörterten allgemeinen Beziehungen zwischen den Schwankungen der Erregbarkeit und der zu einer bestimmten Intensität der Erregung erforderlichen Reizstärke besteht. In der That ist daher diese Beziehung längst schon nach diesen allgemeinen psychophysischen Bedingungen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit vorausgesagt worden. Indem nämlich die in jedem Moment des Verlaufes vorhandene Erregung bei den negativen Nachbildern als eine Verminderung der von der reagirenden Fläche ausgehenden Erregung aufgefasst werden kann, wird man annehmen können, dass die Nachbildwirkung stets einer entsprechenden Veränderung des objectiven Reizes äquivalent sei. Man darf also erwarten, dass sich die durch ein Nachbild afficirte Netzhautstelle nicht anders verhalte, als wie sich eine normale, nicht unter diesem Einfluss stehende verhalten würde, wenn sie von einem um den Betrag der Nachbildwirkung verminderten Reize getroffen würde. Darum hat bereits FECHNER auf Grund solch allgemeiner Erwägungen für alle Sinnesgebiete und speciell auch für die Nachbildwirkungen dieses Princip als eine Art selbstverständlicher Forderung aufgestellt, indem er bei seinem »Parallelgesetz zum WEBER'schen Gesetz« eben jene Aequivalenz von Reizbarkeitsänderung und proportionaler Reizänderung bei constant bleibender Reizbarkeit voraussetzte[1]. Von HELMHOLTZ wurde dann das nämliche Princip speciell für den Gesichtssinn angenommen, jedoch ebenso wenig wie vor ihm von FECHNER direct durch Beobachtungen erwiesen[2]. Dagegen fand W. WIRTH, unter Anwendung der oben skizzirten Methode, dass sich der »FECHNER-HELMHOLTZ'sche Satz«, wie man hiernach dieses Princip bezeichnen kann, in weitem Umfang sowohl für Helligkeits- wie für Farbenänderungen bestätigt[3]. Hierbei ergab sich aber zugleich, als eine wichtige Ergänzung desselben, dass das Nachbild einer Farbe eine zu ihr complementäre Verschiebung jeder beliebigen andern reagirenden Farbe hervorbringt, welche Verschiebung in ihrem Betrag der Helligkeit dieser reagirenden Farbe proportional ist und für gleich helle Farben beliebiger Sättigung (also Grau inbegriffen) ungefähr dem nämlichen absoluten Werthe entspricht. Es besteht somit keine Einschränkung der Erregbarkeitsänderung

---

[1] FECHNER, Elemente der Psychophysik. Bd. 1, S. 300 ff. Vgl. auch oben Bd. 1, S. 540.

[2] HELMHOLTZ, Physiologische Optik[1], S. 363, [2] S. 508.

[3] W. WIRTH, Philos. Stud. Bd. 16, 1900, S. 516 ff. Bd. 17, 1901, S. 360 ff.

auf bestimmte complementäre Farbenpaare oder sogenannte »Gegenfarben«.

Die Zeit, die eine Netzhauterregung braucht, um ihr Maximum zu erreichen, hat zuerst EXNER für weißes Licht, dann KUNKEL für die verschiedenen Farben zu bestimmen gesucht. Dabei ist jedoch zu bemerken, dass sich alle solche Bestimmungen nicht direct auf die Ermittelung des Zeitpunktes beziehen, wo die Netzhauterregung oder die Empfindung selbst, sondern nur auf diejenige Dauer des Reizes, bei welcher die Erregung einen Maximalwerth erreicht, den sie bei einer länger dauernden Einwirkung des gleichen Reizes nicht überschreitet. Dies ist deshalb zu beachten, weil bei der Trägheit der Erregungsvorgänge in der Netzhaut nicht ohne weiteres anzunehmen ist, in dem Zeitpunkt, wo der Reiz aufhört, sei auch die Erregung schon zu der der betreffenden Reizstärke entsprechenden Höhe angewachsen. Wohl aber darf man voraussetzen, dass jene für die untere Maximalgrenze des Reizes erforderlichen Zeiten den Zeiten des Anwachsens der Erregung proportional und von ihnen nicht erheblich verschieden sein werden. Ferner beziehen sich alle diese Messungen nicht auf momentane, sondern auf länger dauernde Reizeinwirkungen, die sich also etwa mit der tetanischen Erregung des Muskels in Analogie bringen lassen, während es uns an jedem Hülfsmittel fehlt, den Verlauf der Netzhauterregung nach instantaner Reizung, für den wir bei den motorischen Nerven in dem Verlauf der Muskelzuckung ein gewisses Maß besitzen, objectiv zu bestimmen. EXNER bediente sich bei seinen Versuchen der Nachbildwirkungen weißer Sectoren auf schwarzem Grund, die durch einen ihnen nachfolgenden Helligkeitseindruck ausgelöscht wurden. Er suchte so diejenigen Zeitwerthe zu bestimmen, bei denen der erste Eindruck sein

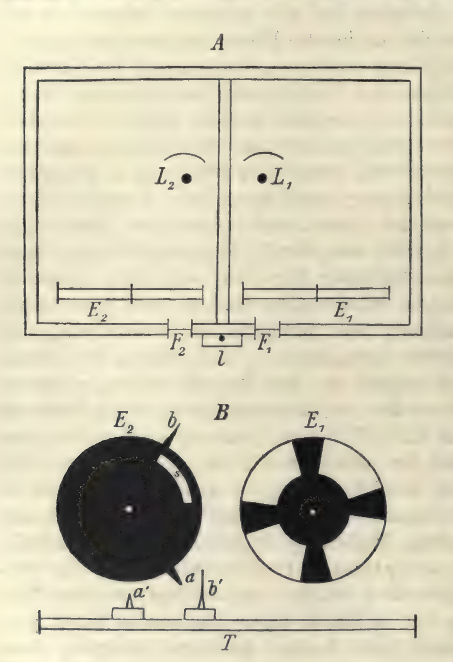


Fig. 198. Schema der Versuchsanordnung zur Messung des Ansteigens der Netzhauterregung.

Maximum bereits überschritten, der zweite dasselbe noch nicht erreicht hatte, so dass also das wirkliche Maximum in der Mitte zwischen beiden Punkten angenommen werden konnte. EXNER fand auf diese Weise eine Verkürzung der Zeit des Ansteigens der Erregung mit wachsender Intensität der Lichtreize: in einer ersten Versuchsreihe von 287 bis zu 151 σ (1 σ = 0,001 Sec.), in einer zweiten von 265 bis auf 118 σ[1]. Bei der Wiederholung dieser Versuchsweise fanden aber sowohl KUNKEL wie DÜRR die Beobachtung der Nachbilder so schwierig, dass sie zu keinen sicheren Ergebnissen gelangen konnten. DÜRR ersetzte daher die EXNER'sche durch die folgende Versuchsanordnung, die sich wesentlich dadurch unterscheidet, dass bei ihr, wie die Curven der Fig. 196 veranschaulichen, unmittelbar der Effect eines kurz dauernden, zeitlich variabeln mit dem eines länger dauernden, relativ constant bleibenden Reizes verglichen wurde[2]. In einem geschwärzten, in der Mitte durch eine Scheidewand in zwei Hälften getrennten Kasten befanden sich zwei Lichtquellen L_1 und L_2 rechts und links von der Scheidewand (Fig. 198). Vorn besaß der Kasten zwei kleine quadratische Oeffnungen F_1 und F_2, die mit durchsichtigem Papier verschlossen waren, zwischen ihnen das kleine, ebenfalls von durchscheinendem Papier überzogene Glühlämpchen l, dessen schwaches Licht als Fixirzeichen diente. Hinter F_1 und F_2 befanden sich ferner die durch einen Elektromotor in Rotation zu versetzenden Episkotisterscheiben E_1 und E_2, von denen E_1 ein gewöhnlicher sehr rasch rotirender Episkotister, E_2 ein langsamer bewegter Partialepiskotister mit verstellbarem Schlitz ist, dessen Geschwindigkeit variirt und gemessen werden kann, und an dessen Umkreis sich die Auslösungsvorrichtungen a und b (Fig. 198 B) befinden. Beide in der oberen Figur A im Grundriss angedeutete Episkotister sind in der unteren B in der Vorderansicht abgebildet. Hier sieht man, dass E_2 eine schwarze Scheibe ist, die an ihrer Peripherie, mit dem Fenster F_2 sich deckend, einen variirbaren Schlitz s führt. Außerdem befinden sich an der Peripherie des Rades die zwei Auslösungsvorrichtungen a und b, die den auf dem Tisch T angebrachten Contacten a' und b' correspondiren. Treten diese Contacteinrichtungen in Function, so werden bei dem Contact aa' momentan durch Oeffnung der Fenster F_1 und F_2 die rotirenden Episkotister sichtbar. Erfolgt der Contact bb', so werden ebenso momentan die Fenster wieder geschlossen. Von diesen Contacten ist b so eingestellt, dass es mit dem Ende des Schlitzes s zusammenfällt, a dagegen ist, ebenso wie die Länge des Schlitzes s, in seiner Stellung variirbar. Außerdem ist die Einrichtung getroffen, dass die Auslösungen aa' und bb' nur während einer einzigen, beliebig zu wählenden Umdrehung des Episkotisterrades E_2 functioniren. Demnach entspricht der Augenblick des Contactes aa' dem Beginn der Normalreizcurve R_n, der beginnende Eintritt des Schlitzes in das Fenster F_2 dem in den verschiedenen Versuchen variabeln Eintritt der Vergleichsreizcurven R_1, R_2, R_3 (Fig. 196), und endlich der Schluss des Contactes bb',

---

[1] EXNER, Sitzungsber. der Wiener Akademie, (2), Bd. 58, 1868, S. 601.

[2] Völlig sowohl von EXNERS wie DÜRRS Resultaten, die, wenn auch nicht hinsichtlich der Abhängigkeit von der Lichtstärke, doch in Bezug auf die Durchschnittswerthe der Zeit der Weißerregung übereinstimmen, weichen übrigens die Versuche von KUNKEL (PFLÜGERS Archiv, Bd. 9, 1875, S. 197) über Farbenerregungen ab. Es drängt sich daher die Vermuthung auf, dass bei ihnen irgend welche störende Einflüsse wirksam gewesen seien.

der zugleich mit dem Austritt von *s* aus dem Fenster F_2 zusammenfällt, der momentanen Unterbrechung der Versuche. Die Regelmäßigkeit der so gewonnenen Ergebnisse erhellt aus der folgenden kleinen Tabelle, welche die Partialmittel zu den oben angeführten Gesammtmitteln enthält. I und II bezeichnen Gruppen von je zwei Beobachtern, *H* Versuche bei Helladaptation, *D* bei Dunkeladaptation; R_o solche bei minimaler, R_i bei größerer Lichtstärke.

		$R_v : R_n$	Weiß	Roth	Gelb	Grün	Blau
H	I	1 : 2	269	519	534	529	523
	II	2 : 5	271	535	497	533	496
D	R_o II	4 : 27	266	541	573	541	543
	R_i I	4 : 23	265	524	529	521	522

Eingehender als der ansteigende ist der absteigende Theil der Erregungscurve untersucht worden, namentlich insoweit er der Phase der negativen und complementären Nachbilder angehört. Dabei kommt freilich in Betracht, dass die Empfindlichkeit für die Nachbilder individuellen Schwankungen ausgesetzt ist, was bei den farbigen Nachbildern zum Theil mit den unten zu erörternden Anomalien der Farbenempfindungen zusammenhängt. Andere Unterschiede beruhen hier, wie in so vielen andern Fällen, wohl zumeist auf ungenauer Beobachtung, und sie schwinden daher fast ganz, sobald man exacte Versuchsbedingungen einführt. Ein »farbentüchtiges« Auge sieht, wenn der Lichtreiz hinreichend stark ist, in der Regel schon bei gewöhnlicher Tagesbeleuchtung sowohl das kurzdauernde gleichfarbige wie namentlich das ihm dann folgende complementäre Nachbild sehr deutlich, wenn man eine aus einer möglichst gesättigten Pigmentfarbe hergestellte kleinere farbige Fläche auf complementärem Grunde kurze Zeit betrachtet und dann an die Stelle des Objectes eine farblose Fläche schiebt oder auch mit dem Blick aut eine solche übergeht. Die Erzeugung intensiverer complementärfarbiger Nachbilder gelingt leicht mit dem in Fig. 199 dargestellten Apparate. Derselbe besteht aus einem hinten und oben offenen

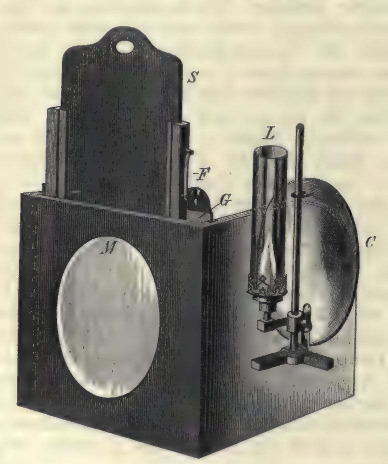


Fig. 199. Apparat zur Erzeugung complementärfarbiger Nachbilder.

Kasten, der vorn einen kreisförmigen Ausschnitt von 20—30 cm Durchmesser hat, in welchen Ausschnitt eine Mattglasplatte *M* eingefügt ist. Die geschwärzte Außenseite des Kastens wird vorn im Umkreis der Mattglasplatte mit durchscheinendem weißem Papier bedeckt, so dass die Platte in dem verdunkelten Raum, in dem die Versuche anzustellen sind, weiß auf grauem Grunde erscheint. Unmittelbar hinter der Mattglasplatte befinden sich im Innern des Kastens zwei Schlitten: ein vorderer, in welchem der geschwärzte, unten mit Blei beschwerte Schieber *S* läuft, und ein hinter diesem gelegener, in den eine farbige Glasplatte *G* eingeführt werden kann. In weiterer Entfernung befindet sich noch im Innern des Kastens die mit Argandbrenner versehene Gaslampe *L* mit dem weiß angestrichenen etwas concaven Schirm *C*, der das Licht der Flamme gegen *M* reflectirt. Bei Anstellung der Versuche setzt man zuerst die farbige Platte *G* bei herabgelassenem Schirm ein, dann wird *S* plötzlich in die Höhe gezogen, wodurch *M*, welches starr zu fixiren ist, intensiv in farbigem Lichte erscheint. Ist die zur Erzeugung des complementären Nachbildes erforderliche Zeit verflossen, so lässt man durch Zug an der den Schieber *S* festhaltenden Feder *F* diesen plötzlich herabfallen: es erscheint dann der Kreis *M*, dessen reagirendes Licht jetzt objectiv eine Mischung aus dem Weiß der Mattglasplatte und dem Schwarz des Schiebers, also grau ist, sehr intensiv in der zu dem vorangegangenen Eindruck complementären Farbe.

Schwieriger als die qualitative Beobachtung der Nachbilder gestaltet sich die quantitative Verfolgung dieser Erscheinungen, wie sie von C. F. Müller, J. von Kries und namentlich von W. Wirth nach dem Princip der Vergleichung des Nachbildes in jedem seiner Stadien mit einem unabhängig gegebenen Lichtreiz ausgeführt wurde. Die Versuche Wirths erstrecken sich

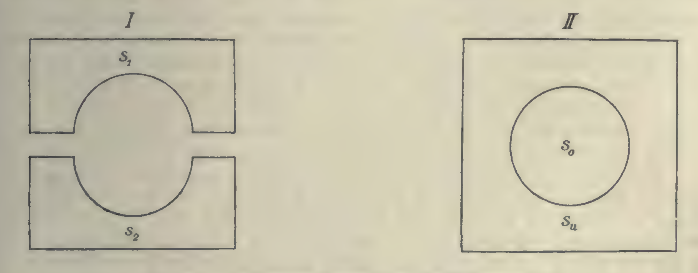


Fig. 200. Schirmvorrichtungen zu Nachbildversuchen.

auf Pigment- und auf künstlich (durch Strahlenfilter hergestellte) Spektralfarben, wobei sich in beiden Fällen Scheiben und Episkotister mit während der Rotation variirbaren Sectoren oder Ausschnitten besonders nützlich erwiesen[1]. Werden Scheiben wie die in Fig. 197 *B* dargestellte als Episkopister benutzt, so treten natürlich an die Stelle der weißen Sectoren dunkle, verstellbare aus

[1] Rücksichtlich der näheren Beschreibung der mannigfachen sich zum Theil controlirenden Methoden und ihrer technischen Ausführung vgl. Wirth, Philos. Stud. Bd. 16. 1900, S. 504 ff. Bd. 17, 1901, S. 318 ff.

Blech (Bd. 1, S. 524, Fig. 152), und an die Stelle der farbigen Pigmente spektralreine Gelatinecombinationen (S. 170). Zur momentanen Ausschaltung der Einwirkung des äußeren oder innern Rings der Scheiben können Schirmcombinationen wie die in Fig. 200 in stark verkleinertem Maßstabe abgebildeten dienen. So lange sich die beiden Schirmhälften s_1 und s_2 (I) berühren, wird der Vergleichsring V verdeckt. Die Combination ist daher geeignet, um den Verlauf der Erregung bei dauernder Fixation von N zu verfolgen, indem immer nur auf Augenblicke der Vergleichung V durch Auseinanderziehen der Schirme zum Zweck der Messung enthüllt wird. Für die Verfolgung des Nachbildverlaufs auf irgend einer andern reagirenden Fläche dienen die einander superponirten Schirme s_o und s_u in II, wo s_o die reagirende Fläche von beliebiger Farbe und Helligkeit ist, und s_u in den Momenten hinweggezogen und dadurch V enthüllt wird, wo das auf s_o entworfene Nachbild gemessen werden soll. Als bemerkenswerth ist aus diesen Versuchen im Anschluss an die oben dargelegten allgemeinen Ergebnisse noch hervorzuheben, dass sich durchweg die Größe der Nachbildwirkung unabhängig erweist von der Größe der reagirenden Fläche, soweit nicht Contrasteinflüsse hereinspielen, die jedoch bei den oben beschriebenen Messungen durch die subjective Compensation des Nachbildes jederzeit ausgeschlossen werden. Ferner ist, obgleich, wie bemerkt, farbiges wie farbloses reagirendes Licht in gleicher Weise auf farbige und farblose Nachbilder proportional seiner Helligkeit reagirt, die Helligkeitsänderung des Nachbildes etwa um ein Drittel kleiner als die Farbenänderung. In dieser Beziehung erscheinen also die verschiedenen Farben als Gegensätze gleicher Art, gegen das Schwarz, insofern eben Schwarz diejenige Lichtqualität ist, bei der das Minimum der Reactionswirkung besteht. Den stärksten Gegensatz zu dem Schwarz bildet aber auf der andern Seite das farblose Weiß. Demnach nimmt das Schwarz gegenüber allen Lichtempfindungen einschließlich der Farben eine contrastirende Sonderstellung ein, während es außerdem noch wegen des Zusammenhangs mit den reinen Helligkeitserregungen einen besonderen Gegensatz zu Weiß bildet. Dies sind Verhältnisse, die durchaus wieder der auf Grund der unmittelbaren subjectiven Beziehungen der Lichtempfindungen entworfenen symbolischen Darstellung des Farbensystems conform erscheinen (Fig. 185, S. 162).

Eine weitere Entscheidung liefern endlich diese messenden Versuche hinsichtlich einer andern Frage, die Gegenstand abweichender Beantwortung gewesen ist, der Frage nämlich nach dem Verhältniss des reagirenden Lichtes zur Entwicklung des Nachbildes. Dass dieses in seiner Beschaffenheit und in der Art seines Verlaufs von dem Lichte abhängt, das nach der Einwirkung des Nachbildreizes auf die gleiche Netzhautstelle einwirkt, daran kann natürlich kein Zweifel sein. Wohl aber ist es Gegenstand des Streites, ob, wie Fechner und Helmholtz behaupten, alle Nachbildwirkungen an das Vorhandensein reagirenden Lichtes gebunden, oder ob sie, wie zuerst Brücke und dann Hering und Hess annahmen, auch dann noch zu beobachten sind, wenn dieses gänzlich fehlt[1]. Auf Grund rein qualitativer Beobachtungen ist diese Streitfrage kaum zu entscheiden. Denn da die Netzhaut selbst im absoluten

[1] Brücke, Denkschriften der Wiener Akademie, Bd. 3, 1850, S. 95. Hering, Zur Lehre vom Lichtsinn, I. Wiener Sitzungsber. (3), Bd. 66, 1872, S. 5 ff. C. Hess, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 36, 1, 1890, S. 1 ff.

Dunkelraum immer gewissen Lichtreizen, mindestens solchen, die von dem intraocularen Druck oder von den Augenbewegungen herrühren, ausgesetzt ist, so steht es jederzeit frei, diese subjectiven Lichtphänomene als das bei den complementären Nachbildern im Dunkeln wirksame reagirende Licht zu betrachten, oder aber anzunehmen, dass dieses subjective Licht entweder ganz fehlen, oder dass es mindestens nicht denselben Einfluss wie das objective ausüben könne. In der Regel wurde darum auch diese Frage von bestimmten theoretischen Voraussetzungen aus im einen oder andern Sinne beantwortet. Die messende Untersuchung des Nachbildverlaufes bietet nun aber die Möglichkeit einer von irgend welchen Hypothesen unabhängigen Prüfung. Sobald nämlich der FECHNER-HELMHOLTZ'sche Satz auf die Nachwirkungen der Netzhauterregung in dem Sinne zutrifft, dass sich Steigerung oder Herabsetzung der Erregung genau ebenso in der Stärke der Nachbilderscheinungen geltend machen, wie Zu- oder Abnahme eines objectiven, reagirenden Lichtes, so ist damit auch der Beweis geliefert, dass für den Verlauf der Nachwirkungen jenes nie fehlende reagirende Licht wesentlich bestimmend ist.

Schließlich sei hier noch erwähnt, dass in das Gebiet der Nachbildphänomene höchst wahrscheinlich auch ein Theil der Wirkungen gehört, die bei intensiven Netzhauterregungen eines Auges im Auge der andern Seite eintreten. Man beobachtet nämlich hierbei neben dem Nachbild im direct gereizten auch ein freilich viel schwächeres im nicht gereizten Auge. Dasselbe ist von den unten zu besprechenden Erscheinungen des binocularen Contrastes, mit denen es wohl meist zusammengeworfen wurde, auf das bestimmteste zu unterscheiden. Es ist zunächst in seiner Qualität dem primären Nachbilde gleich, nur von weit geringerer Intensität, und zeigt einen ähnlichen Phasenverlauf wie dieses. Man darf wohl annehmen, dass dieses secundäre Nachbild auf einer Miterregung beruht, die durch die vom Mittelhirngebiet kommenden centrifugalen Opticusfasern zu stande kommt. (Vgl. Bd. 1, Fig. 78, S. 184.)[1]

f. Contactwirkungen der Netzhauterregung: Contrasterscheinungen.

Legt man von zwei aus mattschwarzem Papier geschnittenen Quadraten das eine auf einen weißen, das andere auf einen grauen Hintergrund, so erscheint das erste dunkler als das zweite. Ebenso erscheint ein graues Object auf schwarzem Grund etwas heller als auf weißem (Fig. 201). Die Helligkeit, in der ein Netzhauteindruck empfunden wird, ist also nicht bloß von seiner eigenen Lichtstärke, sondern auch von der seiner Umgebung abhängig, indem unsere Empfindung um so mehr in einem bestimmten Sinne ausgeprägt erscheint, je mehr sie in der Umgebung durch den hier stattfindenden Eindruck nach der entgegengesetzten Richtung bestimmt wird. Man bezeichnet deshalb alle diese Contactwirkungen der Netzhauterregung als Contrasterscheinungen. In ähnlichem Sinne

---

[1] TITCHENER, Philos. Stud. Bd. 8, 1893, S. 231 ff.

wie in dem beschriebenen Versuch die farblosen Empfindungen durch die verschiedene Helligkeit ihrer Umgebung, so werden aber Farben verändert, wenn in der Umgebung andersfarbige Eindrücke stattfinden. Wie die Helligkeitsempfindung um so intensiver ist, je stärker der Gegensatz zur Umgebung, so wird die Farbenempfindung um so gesättigter, je mehr sie sich von der Farbenerregung der umgebenden Netzhaut unterscheidet. Die Farben des größten Gegensatzes sind aber die auf der Farbentafel einander gegenüberliegenden Complementärfarben. Jede Farbe wird daher dann in größter Sättigung empfunden, wenn die umgebende Netzhaut von einem complementärfarbigen Eindruck getroffen wird. Um die einzelnen Farben im Maximum ihrer Sättigung erscheinen zu lassen, muss



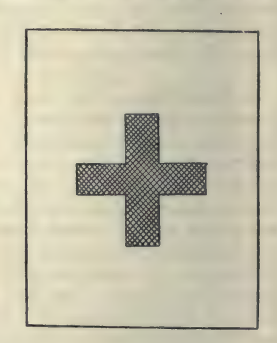


Fig. 201. Helligkeitscontrast.

man also z. B. Roth auf grünblauem, Gelb auf violettem, Grün auf purpurrothem Grunde betrachten. Augenscheinlich besteht hiernach eine Analogie zwischen den Contrasterscheinungen und den negativen und complementären Nachbildern. Bei diesen zeigt sich eine gegebene Netzhautstelle dann zur möglichst gesättigten Empfindung einer Farbe disponirt, wenn zuvor die Contrastfarbe einwirkt. Man hat daher auch die durch vorangegangene Reizung hervorgerufene Veränderung als successiven Contrast bezeichnet, und davon die eigentlichen Contrasterscheinungen, die auf der Wechselbeziehung jeder empfindenden Stelle zu ihrer Umgebung beruhen, als simultanen Contrast unterschieden. Jener successive kann nun natürlich neben dem simultanen Contrast bestehen. Man kann zuerst einer Netzhautstelle durch Reizung ihrer selbst und hierauf, während der Eindruck stattfindet, durch Reizung ihrer Umgebung mit complementärem Licht oder mit einer entgegengesetzten Helligkeit die möglichst große Empfindlichkeit für einen Lichtreiz verleihen.

Jeder Eindruck wird daher dann am entschiedensten in der ihm eigenen Helligkeit und Farbe empfunden, wenn er ebensowohl durch successiven wie durch simultanen Contrast gehoben ist.

Die Erscheinungen des eigentlichen oder simultanen Contrastes, die wir übrigens im Folgenden, um Verwechselungen zu verhüten, allein als Contrasterscheinungen bezeichnen wollen, bieten sich nun der Beobachtung je nach den obwaltenden Bedingungen in den verschiedensten Verbindungen und Graden dar. Zunächst scheiden sich auch hier nach den allgemeinen Componenten der Lichtempfindungen die Helligkeitscontraste und die Farbencontraste. Beide können wieder verbunden oder isolirt von einander und in verschiedener Stärke vorkommen. Solche Unterschiede sind bei Helligkeitscontrasten vornehmlich von der Lichtstärke und der Ausdehnung der Eindrücke, bei Farbencontrasten außerdem von dem Farbenton und der Sättigung abhängig. Legt man ein weißes Object von immer gleicher Beschaffenheit, z. B. ein Quadrat aus weißem Papier, auf verschiedene neben einander gestellte dunkle Flächen, die von vollkommenem Schwarz durch dunkles Grau bis zu Lichtgrau abgestuft sind, so erscheint das weiße Object in abgestufter Helligkeit: auf dem schwarzen Grunde am hellsten, auf dem lichtgrauen am wenigsten hell. Variirt man nun aber nicht bloß die Helligkeit des Grundes, sondern auch diejenige des Objectes, so bemerkt man, dass ein lichtgraues Papier auf schwarzem Grunde in seiner Helligkeit verhältnissmäßig viel mehr gehoben erscheint als ein weißes auf demselben schwarzen Grunde; beide erscheinen ungefähr gleich weiß. Offenbar erreicht also der Contrast bei einer bestimmten Helligkeitsdifferenz der Eindrücke sein Maximum.

Bei farbigen Eindrücken lässt sich der Contrast in dreifacher Weise variiren: indem man erstens den Farbenton, zweitens den Farbengrad, und drittens die Helligkeit der contrastirenden Eindrücke verändern kann. Der Farbencontrast lässt sich somit in drei Contrastformen zerlegen: den eigentlichen Farbencontrast, den Sättigungscontrast und den Helligkeitscontrast. In der Regel sind an einer einzelnen Contrasterscheinung alle drei Factoren betheiligt. Doch kann auch eine, oder es können sogar zwei von ihnen verschwinden, vorausgesetzt nämlich, dass die contrastirenden Objecte in den betreffenden Empfindungseigenschaften, Farbenton, Farbengrad oder Helligkeit, einander gleich sind.

Dass bei dem eigentlichen Farbencontrast Complementärfarben den größten Contrast geben, wurde schon bemerkt. Dieser vermindert sich, wenn die Farbentöne einander näher oder ferner sind. Für die Empfindung ist beides in Anbetracht der geschlossenen Gestalt der Farbencurve identisch: denn hier sind alle nicht complementären Farben einander

näher als die Ergänzungsfarben, und die Hebung durch den Contrast vermindert sich daher mit dieser Annäherung. Dabei ändert sich, so lange man nur den Farbenton variirt, Sättigung und Helligkeit aber constant erhält, ebenfalls nur der Farbenton. Das Maximum des Contrastes wird dann erreicht, wenn die beiden Farben complementär sind; und mit der Verschiebung der Farben ändert sich dies dergestalt, dass der Ton einer jeden in einem Sinne modificirt erscheint, welcher der Annäherung an das nächstliegende Complementärfarbenpaar entspricht. Nennen wir, analog wie bei den Nachbildern, diejenige Farbe, die durch eine andere beeinflusst wird, die reagirende oder inducirte, diejenige, die den Einfluss ausübt, die inducirende, so lassen sich die Erscheinungen der Farbeninduction durch Contrast am zweckmäßigsten in der Weise studiren, dass man von der Farbe, die man als reagirende benutzen will, Objecte von gleicher Größe, also z. B. Papierstücke, die mit möglichst gesättigten Pigmenten bemalt sind, auf eine Reihe neben einander gelegter größerer Stücke legt, die nach den Hauptfarben des Spektrums abgestuft sind. Man kann dann das farbige Object als die inducirte, den andersfarbigen Hintergrund als die inducirende Farbe betrachten. Legt man auf diese Weise z. B. rothe Objecte neben einander auf einen orange, gelb, gelbgrün, grün, grünblau u. s. w. gefärbten Hintergrund, so erscheint das Roth in völlig unverändertem Farbenton auf seinem complementären, dem blaugrünen Hintergrund. Auf grünem erscheint es etwas in Purpur verändert, auf Gelbgrün, Gelb, Orange nimmt es allmählich einen violetten und bläulichen Schimmer an, wogegen es sich auf Blaugrün, Blau u. s. w. mehr dem Orange und Gelb nähert. In ähnlicher Weise bleibt Grün unverändert auf dem ihm complementären Purpur; auf den gegen das Ende des Spektrums gelegenen Farben gewinnt es einen gelblichen, auf den gegen den Anfang gelegenen einen bläulichen Ton. Achtet man gleichzeitig auf den Farbenton des Grundes, so bemerkt man, dass auch dieser, und zwar in entgegengesetztem Sinne verändert erscheint. Während also z. B. Roth auf gelbem Hintergrund einen bläulichen Schein annimmt, erhält der gelbe Hintergrund selbst einen grünlichen. Jede inducirende Farbe wird somit durch diejenige, auf die sie inducirend wirkt, zugleich selbst inducirt. Wir können uns diesen wechselseitigen Einfluss beim Contrast veranschaulichen, wenn wir zwei Farbenkreise concentrisch zu einander construiren und den einen um 180° gegen den andern gedreht denken, so dass jeder Farbe am einen Kreise die Complementärfarbe am andern entspricht (Fig. 202)[1]. Es geben dann die zusammentreffenden Segmente des äußeren und inneren

[1] A. Rollett, Wiener Sitzungsberichte. Math.-naturw. Cl., 3. Abth. März 1867.

Kreises immer die Richtung der Veränderung an. Wählen wir z. B. Grün auf rothem Grunde, so bedeutet dies, da Grün mit Purpur, Roth mit Blaugrün zusammenfällt, dass das Grün so modificirt ist, als wenn ihm Blaugrün; das Roth so, als wenn ihm Purpur beigemischt wäre. Bei Grün auf gelbem Grunde wird sich dagegen das Grün in der Richtung des Indigoblau, das Gelb wieder in der des Purpur, also etwa in ein röthliches Orange verändern. Wählen wir endlich aber Grün auf purpurrothem Grunde, so bezeichnet das Zusammentreffen beider, dass sie in ihrem Farbenton unverändert bestehen bleiben. Als allgemeine Regel für den Farbenwechsel durch Contrast gilt also der Satz, dass jede Farbe im Sinne ihrer Complementärfarbe verändernd wirkt. Dies ist der Grund, weshalb man die Bezeichnungen Complementärfarben und Contrastfarben in übereinstimmender Bedeutung anzuwenden pflegt.

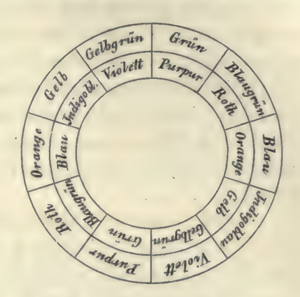


Fig. 202. Contrastkreise.

Der Sättigungs- und der Helligkeitscontrast der Farben sind wegen des oben (S. 158) besprochenen Einflusses der Helligkeit auf die Sättigung nicht von einander zu trennen. Insbesondere ist es unmöglich die Helligkeit zu ändern, ohne dass zugleich die Sättigung geändert würde. Zunächst scheint aber für diese Contrasteinflüsse die Regel zu gelten, dass eine Farbe durch Contrast relativ mehr verändert wird, wenn ihre Sättigung eine relativ geringe ist. Hiervon kann man sich bei den oben erwähnten Versuchen über Helligkeits- und Farbeninduction bei gleichen Objecten auf verschiedenem Grund leicht durch einen von H. Meyer[1] angegebenen Versuch überzeugen. Legt man auf eine irgendwie gefärbte Unterlage ein kleineres anders gefärbtes oder graues Papierschnitzel, so erscheint dieses in der Regel zunächst wenig durch den Contrast verändert. Der Contrast nimmt aber bedeutend zu, wenn man ein durchscheinendes weißes Seidenpapier oder eine Mattglasplatte über das Ganze deckt. Auf solche Weise bedeckt, erscheint z. B. das graue Kreuz in Fig. 201 auf dem schwarzen Grund fast vollkommen weiß, auf dem weißen dunkelgrau, beinahe schwarz. Ein rothes Object auf indigblauem Grunde hat jetzt nicht mehr bloß einen gelblichen Schimmer, sondern es sieht vollständig gelb, der indigblaue Grund aber blaugrün aus; und während man bei den gesättigten Farben trotz des Contrastes

[1] H. Meyer, Poggendorffs Annalen, Bd. 95, 1855, S. 170.

ziemlich leicht erkennt, dass die einzelnen aufgelegten Stücke aus demselben Papier geschnitten sind, ist dies bei den weißlichen Farben nicht mehr möglich, sondern man hält die Farben für durchaus verschiedene. Man pflegt den so unter Zuhülfenahme bedeckender Medien entstehenden Contrast als Florcontrast zu bezeichnen. Da das Farblose als der geringste Sättigungsgrad einer jeden Farbe betrachtet werden kann, so sind übrigens bei solchen Versuchen farblose inducirte Objecte am günstigsten, wenn man möglichst große Farbencontraste hervorbringen will. Ein farbloses Object von gleicher Helligkeit mit einer inducirenden Farbe wirkt selbst nicht inducirend auf diese zurück; es selbst empfängt aber von ihr die reinste inducirende Farbenwirkung, indem es nur in der Contrastfarbe, ohne jede Beimengung einer andern Farbe, gesehen wird. Grau auf rothem Grunde sieht also nun rein grün, Grau auf grünem Grunde rein roth aus, u. s. w.

Aehnlich starke Contrastwirkungen wie bei MEYERs Versuch erhält man, wenn durch Spiegelung die Helligkeit der contrastirenden Objecte ausgeglichen und die Sättigung der Farbe vermindert wird, wie in dem Versuch von RAGONI SCINA (Fig. 203)[1]. Man nimmt eine horizontale und verticale weiße Papierfläche, zu denen eine farbige Glasplatte unter einem Winkel geneigt ist; auf der horizontalen bringt man ein schwarzes Papierstückchen *a* an. In Folge dessen empfängt das Auge *o* in der Richtung *ao* fast nur farbloses Licht, das an der Oberfläche der farbigen Glasplatte reflectirt wird, überall sonst zugleich gebrochenes, das durch die Glasplatte stark gefärbt ist. Es erscheint dann der Fleck *a* deutlich in der Complementärfarbe des Glases. Dieser Versuch lässt sich auch in folgender Weise modificiren. Man nimmt die verticale Papierfläche nicht weiß sondern schwarz, klebt aber bei *b* ein weißes Papierstückchen von gleicher Größe wie *a* auf, dessen Reflexbild mit *a* zusammenfällt. Jetzt erscheint die Farbe der Glasplatte weit gesättigter als im vorigen Fall, weil nur noch das von ihr durchgelassene Licht ins Auge gelangt: wieder erscheint die Stelle *a* deutlich in der Complementärfarbe. Aber es tritt nun gleichzeitig zwischen dem hellen Spiegelbild und dem dunkelfarbigen Grunde ein Helligkeitscontrast auf, und das Spiegelbild des weißen Papierstückchens erscheint daher heller, d. h. minder gesättigt, als wenn man auch für den Reflex eine gleichförmig weiße Farbe nimmt, durch welche die Farbe der Glasplatte an Sättigung vermindert wird.

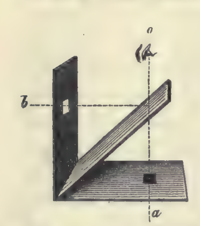


Fig. 203. Versuch von RAGONI SCINA.

[1] HELMHOLTZ, Physiologische Optik[2], S. 557.

Das vorzüglichste Mittel zur Hervorbringung der Contrasterscheinungen bietet endlich der Farbenkreisel. Gibt man der Scheibe desselben mehrere farbige Sectoren, deren jeder an einer bestimmten Stelle durch ein schwarzes Zwischenstück unterbrochen ist, wie in Fig. 204, wo die farbigen Theile der Sectoren durch Schraffirung angedeutet sind, so erscheint bei rascher Rotation die ganze Scheibe in einem weißlichen Farbenton, an der Stelle des Zwischenstücks erscheint aber ein Ring in der Complementärfarbe. Nun lässt sich leicht die Farbe des Grundes an Sättigung vermehren oder vermindern, indem man die Breite der Sectoren größer oder kleiner wählt, und ebenso die Helligkeit des Ringes je nach der Breite, die man dem schwarzen Zwischenstück gibt. Man findet dann auch hier wieder, dass der Farbencontrast unter sonst gleichen Bedingungen am stärksten ist, wenn beide Flächen von gleicher Helligkeit

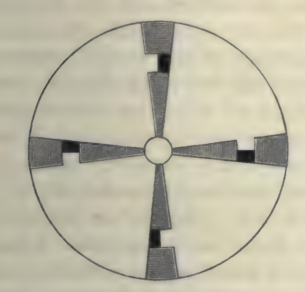


Fig. 204. Farbenkreisel zu Contrastversuchen.



Fig. 205. Ruhendes Contrastobject zur Vergleichung mit dem Farbenkreisel.

sind, und dass er mit Zunahme des Helligkeitsunterschiedes immer mehr abnimmt: ein dunkler Farbenton verlangt also eine schwarzgraue, ein heller eine hellgraue Contrastfläche zur Erzielung günstiger Wirkungen[1].

Auf ähnlichen Bedingungen wie die Contrastwirkungen rotirender Scheiben beruhen wohl die Erscheinungen der farbigen Schatten. Dahin gehört z. B. die bekannte Erscheinung, dass ein Schatten in der röthlichen Beleuchtung der Abendsonne oder des Lampenlichtes grünblau gefärbt ist. Auch hier ist der Schatten selbst farblos grau, und er wird daher durch die verbreitete farbige Umgebung stark im complementären Sinne inducirt. In allen möglichen Contrastfarben lassen sich solche Schatten hervorbringen, wenn man Sonnen- oder Lampenlicht durch

---

[1] Schmerler, Philos. Stud. Bd. 1, 1883, S. 379. Kirschmann, ebend. Bd. 6, 1891, S. 462 ff.

gefärbte Gläser treten lässt und in dieser farbigen Beleuchtung schattengebende Objecte aufstellt[1].

Die auffallende Verstärkung der Contrasterscheinungen bei diesen Versuchen legt die Vermuthung nahe, dass hier zu den regelmäßig vorhandenen Contactwirkungen einer Netzhauterregung auf ihre Umgebung noch besondere Momente hinzutreten. Nun ist es eine allen diesen Arten der Contrastverstärkung gemeinsame Eigenthümlichkeit, dass bei ihnen Helligkeiten und Farben, sowohl inducirende wie inducirte, in nur mäßiger Stärke einwirken. Da in dieser Beziehung die übrigen Fälle relativ großer Contraste mit dem MEYER'schen Versuch übereinstimmen, so werden wir demnach von vornherein auch solche Erscheinungen wie die Contraste an rotirenden Scheiben und an farbigen Schatten in einem weiteren Sinne dem Gebiet des Florcontrastes zuzählen dürfen (S. 212). Dann aber erhebt sich die Frage, ob bei diesen Unterschieden des Flor- und des sonstigen Contrastes, welchen letzteren wir der Kürze wegen Contactcontrast nennen wollen[2], nicht noch andere Momente mitwirken. Dass dies wirklich so ist, lehren nun vor allem die Versuche mit den rotirenden Scheiben, wenn man die an ihnen erzeugten Contraste mit denen ruhender Objecte von ähnlicher Färbung und Helligkeit vergleicht. Ueberzeugend ist besonders der folgende, von J. KÖHLER ausgeführte Versuch. Man stelle ein Object mit abwechselnden grauen und farbigen Streifen her (Fig. 205), die sorgfältig und möglichst gleichmäßig mit Pigmentfarben ausgeführt sind, und wo die grauen Streifen (in der Figur durch horizontale Schraffirung angedeutet) in ihrer Helligkeit genau dem Grau des mittleren Rings einer rotirenden Contrastscheibe und ebenso die farbigen (in der Figur schräg schraffirt) in Farbenton und Sättigung den rotirenden farbigen Ringen derselben Scheibe gleichen. Stellt man ein solches Object neben die rotirende Scheibe, so ist der Unterschied beider Contrastwirkungen im höchsten Grade auffallend: während die Scheibe einen intensiv gefärbten Contrastring zeigt, bemerkt man an den farbigen Streifen nur einen schwachen Anflug der Contrastfarbe. Diese wird erst etwas intensiver, wenn man sich in größere Entfernung begibt, wo die Conturen der Streifen nicht mehr scharf gesehen werden, oder wenn man das Object durch eine die scharfe Bildentwerfung hindernde Convexlinse betrachtet. Demnach bildet offenbar die Schärfe der Begrenzungslinien eine wichtige Bedingung für den Grad der Contrastwirkung; und als »Florcontrast« im weiteren Sinne werden wir jede Contrastwirkung betrachten dürfen, bei

---

[1] FECHNER, POGGENDORFFS Annalen, Bd. 50, S. 438.

[2] Den zuweilen zur Unterscheidung gebrauchten Ausdruck »gewöhnlicher Contrast« möchte ich lieber vermeiden, weil er die Meinung erwecken könnte, er sei der häufigere, was, wie sich sogleich zeigen wird, schwerlich zutrifft.

welcher der Mangel der scharfen Begrenzung eine Rolle spielt, wobei vorläufig dahingestellt bleiben mag, ob der außerdem bestehende fördernde Einfluss gewisser mittlerer Werthe der Helligkeit und Sättigung auf den Contrast erst in Verbindung mit diesem Moment oder eventuell auch für sich allein schon zur Geltung kommt. In der That ist ersichtlich, dass in dieser Beziehung, in der Beseitigung scharfer Begrenzungslinien zwischen den einander inducirenden Flächen, alle oben beschriebenen Fälle übereinstimmen. Sind auch an den rotirenden Scheiben bei exacter Bewegung der Apparate die Conturen schärfer als an den farbigen Schatten und den durchscheinenden Papieren, so führt doch stets die Rotation eine gewisse Unsicherheit der Begrenzung mit sich. Auch lässt sich dieser Einfluss der Conturen direct experimentell erweisen, da sich der Contrast beträchtlich verstärkt, wenn man durch eine vorgehaltene Linse die genaue Accommodation auf die Grenzlinien aufhebt. Anderseits vermindert er sich sehr, wenn man die Contrastkreise der Scheibe durch schwarze Linien gegen einander abgrenzt. Einen ähnlichen stark contrastvermindernden Einfluss hat die Umgrenzung bei dem MEYER'schen Versuch, wenn man auf dem bedeckenden Florpapier Conturen zieht, die den Grenzen des unterliegenden inducirten Objects folgen.

Diese Einflüsse der Begrenzung bringen nun den Florcontrast in nahe Beziehung zu andern Erscheinungen, die man als Randcontrast zu bezeichnen pflegt. Sobald nämlich Objecte bei unmittelbarer Berührung stark inducirend auf einander wirken, so bemerkt man in der Regel, dass die sich berührenden Ränder der Objecte weit stärker verändert sind, als die entfernteren Theile der Contrastflächen. Am schönsten lassen sich diese Erscheinungen des Randcontrastes mittelst der rotirenden Scheiben herstellen. Versieht man eine weiße Scheibe mit schwarzen Sectoren, deren Breite sich, wie in Fig. 206, von innen nach außen vermindert, so müssten, wenn kein Contrast stattfände, bei der Rotation graue Ringe erscheinen, deren Helligkeit von innen nach außen abnähme, aber innerhalb eines jeden Abschnitts constant bliebe. In Wirklichkeit erscheint jeder Ring nach innen, wo der nächste dunklere angrenzt, heller, fast weiß, nach außen, wo ein hellerer angrenzt, dunkler. Nimmt man eine farbige Scheibe wie Fig. 204, wählt aber die beiden an die schwarzen Mittelstücke anstoßenden Sectorenabschnitte von verschiedener Farbe,



Fig. 206. Scheibe zur Erzeugung von Randcontrasten.

z. B. die inneren roth, die äußeren gelb, so erscheint bei der Drehung auch der mittlere graue Ring in verschiedenen Contrastfarben, nach innen grünblau, nach außen violett. Dieselbe Erscheinung lässt sich noch in der mannigfachsten Weise variiren: immer ist der Contrast da am deutlichsten, wo die Helligkeit oder der Farbenton rasch sich ändert. Contrastwirkungen in entgegengesetztem Sinne lassen sich daher neben einander hervorbringen, wenn man Helligkeit oder Farbenton in nahen Abständen in entgegengesetztem Sinne verändert. Auch an Nachbildern sind, wie HERING gezeigt hat, solche Randwirkungen zu beobachten[1]. So besteht das negative Nachbild des in Fig. 207 dargestellten Quadrates aus einem weißen Rechteck rechts und einem schwarzen links mit einer durch den Randcontrast erzeugten Grenzzone von verstärktem Helligkeitsunterschied. Dabei erscheint nun das Nachbild des schwarzen Querstreifens von intensiverer Helligkeit, indem hier der Contrast gegen zwei begrenzende dunkle Nachbilder zur Geltung kommt. Verdunkelt man sodann diese Nachbilder durch Projection auf einen schwarzen Hintergrund, so wird der weiße Nachbildstreifen noch mehr in seiner Helligkeit gehoben. Alle diese Versuche zeigen, dass die Stärke des Contrastes von der räumlichen Nähe der contrastirenden Eindrücke abhängt. Sie lassen aber außerdem vermuthen, dass speciell der Randcontrast eine Erscheinung ist, bei der sich, wenn die Lichtreize lange genug einwirken, der simultane Contrast und der successive oder die Nachbildwirkung verbinden und verstärken können. Indem nämlich in solchem Falle das Auge schwache Hin- und Herbewegungen ausführt, kommt das complementäre Nachbild des zuerst fixirten Objectes abwechselnd mit der ihm gleichen Farbe des inducirenden zur Deckung. Damit stimmt überein, dass der Randcontrast, namentlich bei längerer Fixation, eine unruhige, abwechselnd zu- und abnehmende Erscheinung ist, und dass er sich dagegen bei möglichst starrer Fixation bedeutend einschränkt.



Fig. 207. Object für contrastirende Nachbilder.

Da der Florcontrast und der Randcontrast Erscheinungen sind, die beide in einer Verstärkung der Contrastwirkungen bestehen, so hat man wohl vermuthet, beide seien mit einander identisch, und die weitere Ausbreitung des Florcontrastes beruhe nur auf Nachbildern, die mit Bewegungen des Auges wandern. Nun wird allerdings jene verschwimmende Beschaffenheit der Begrenzungen, die sich als ein Hauptfactor des

[1] HERING, Zur Lehre vom Lichtsinn. 1.—3. Mittheilung.

Florcontrastes herausstellt, durch den Randcontrast unterstützt. Dennoch bestätigt sich jene Vermuthung nicht. Denn die Wirkungen des Florcontrastes sind sehr deutlich auch dann wahrzunehmen, wenn ein Randcontrast kaum zu bemerken ist; und sie erstrecken sich selbst bei starrer Fixation und kurz dauernder Einwirkung der Reize in so weite Entfernungen über die Begrenzungslinien der Contrastobjecte hinaus, dass dabei an Nachbildwirkungen gar nicht zu denken ist, die ohnehin bei der geringen Intensität und der kurzen Dauer der Reize kaum merklich sein können. Endlich aber stehen Randcontrast und Florcontrast in Bezug auf die für sie günstigsten Lichtstärken unter entgegengesetzten Bedingungen. Während der Florcontrast bei mittleren Sättigungs- und Helligkeitsstufen sein Maximum erreicht, scheint der Randcontrast mit der Lichtintensität fortwährend zuzunehmen. Beide Erscheinungen greifen also zwar vielfach in einander ein, sind aber selbst offenbar auf verschiedene Ursachen zurückzuführen.

Für eine Untersuchung der quantitativen Verhältnisse des Contrastes ist es nun unerlässlich, die Bedingungen der Erscheinungen, die wir mit den Namen des »Contactcontrastes«, des »Florcontrastes« und des »Randcontrastes« bezeichnet haben, sorgfältig zu sondern. Für den Randcontrast besteht das Erforderniss hierzu darin, dass er durch starre Fixation so viel wie möglich eingeengt, und durch kurz dauernde Einwirkung der Reize von der Beimengung complementärer Nachbilder freigehalten wird. Für die Beziehungen von Contact- und Florcontrast dagegen kommt in Betracht, dass der erstere, wenn Flor- und Randcontrast ganz ausgeschlossen sind, nur sehr schwache Wirkungen zeigt, daher von einer Abstufung und Messung der Erscheinungen hier überhaupt nicht die Rede sein kann. Anderseits ist für messende Versuche die Anwendung der rotirenden Scheiben eine allen andern Verfahrungsweisen weit überlegene Methode, wie sie sich uns denn als solche schon bei der quantitativen Untersuchung der Nachbildphänomene bewährt hat (S. 199). Nun gehören aber schon die Contraste der rotirenden Scheiben ihrem wesentlichen Charakter nach zum Gebiet des Florcontrastes. Exacte Hülfsmittel, den Contactcontrast ohne alle begleitende Florwirkungen messend zu verfolgen, besitzen wir also nicht. Demnach bleibt zur Untersuchung der besonderen Wirkungen des Florcontrastes nur ein approximatives Verfahren möglich. Betrachtet man nämlich den unter gewöhnlichen Bedingungen und bei schärfster Fixation an rotirenden Scheiben wahrzunehmenden Contrast als einen dem Contactcontrast sich nähernden Grenzfall, so werden die besonderen Bedingungen des Florcontrastes quantitativ verfolgt werden können, wenn man die für ihn qualitativ

nachgewiesenen begünstigenden Bedingungen verstärkt, also namentlich die Sättigungsgrade und die Conturenverhältnisse variirt. Dabei muss in allen Fällen die inducirende Fläche zureichend groß sein, um eine möglichst deutliche Wirkung zu erzielen, da, wie KIRSCHMANN durch messende Beobachtungen feststellte, beim Helligkeits- wie beim Farbencontrast die Stärke des Contrastes proportional dem linearen Durchmesser des inducirenden Objectes zunimmt[1]. Auf der andern Seite muss aber auch die Größe der inducirten Fläche hinreichend groß sein, damit sich der Randcontrast nur über einen relativ kleinen Theil derselben ausdehnen kann. In Anbetracht der oben berührten Wechselwirkungen, in denen Helligkeits- und Farbencontrast zu einander stehen, tritt ferner jede dieser Contrastformen dann am deutlichsten hervor, wenn gleichzeitig die andere ausgeschlossen ist. Demnach sind solche Bestimmungen von vornherein um so mehr auf die Untersuchung des reinen Helligkeits- oder Farbencontrastes einzuschränken, als sie nur in diesen Fällen zureichend einfach sind, um die bestehenden Gesetzmäßigkeiten deutlich hervortreten zu lassen. Dabei kommen nun diese hauptsächlich in zwei Momenten zum Ausdruck: erstens in den Veränderungen, die der Contrast bei gleich bleibender Beschaffenheit des inducirten Feldes mit der Variation der Helligkeit oder des Farbengrades der inducirenden Fläche erfährt; und zweitens in den für den Eintritt des Contrastmaximums geltenden Bedingungen.

Das einfachste Verfahren, um über den Gang des reinen Helligkeitscontrastes bei veränderlicher Lichtstärke der Reize Aufschluss zu gewinnen, besteht hiernach darin, dass man an einer rotirenden Scheibe, die in zwei concentrische Ringe mit verschieden großen Sectoren getheilt ist, wie die oben zur Messung von Nachbildwirkungen angewandte Fig. 197 *A* (S. 199), durch die wechselseitige Induction des äußeren dunkleren und des inneren helleren Ringes Contrast hervorbringt. Dann sieht man zu, wie sich dieser Contrast ändert, wenn man die Scheibe durch verdunkelnde graue Gläser betrachtet. Dabei beobachtet man nun, dass innerhalb ziemlich weiter Grenzen bei verschiedener Abstufung der Verdunkelung durch wechselnde graue Gläser das Verhältniss der Helligkeiten beider Ringe, also die Größe der wechselseitigen Contrastwirkung constant bleibt[2]. Genauere messende Versuche lassen sich sodann mittelst der gleichen Contrastscheibe Fig. 197 *A* ausführen, wenn man eine in ihrer Nähe aufgestellte, aber der inducirenden Wirkung doch zureichend

[1] KIRSCHMANN, Philos. Stud. Bd. 6, 1891, S. 457.

[2] Diese Beobachtung, die den zur Messung der Unterschiedsempfindlichkeit angewandten Methoden nachgebildet ist, war wohl der erste Versuch einer annähernden quantitativen Contrastmessung. Vgl. die 3. Aufl. dieses Werkes, Bd. 1, S. 499.

entzogene Vergleichsscheibe mit während der Rotation verstellbaren schwarzen und weißen Sectoren (Bd. 1, S. 524) aufstellt, und nun, um Nachbildwirkungen zu vermeiden, bei jedesmal möglichst momentaner Auffassung in einer Reihe auf einander folgender Beobachtungen die Sectoren dieser Vergleichsscheibe zuerst allmählich bis zur Gleichheit mit dem einen, z. B. dem inneren hell inducirten, und hierauf in einer zweiten Versuchsreihe bis zur Gleichheit mit dem dunkel inducirten äußeren Contrastring einstellt. Hierbei muss zugleich der Hintergrund der Versuchsanordnung der Helligkeit der äußeren Scheibenringe möglichst entsprechen, was sich am sichersten durch große rotirende Scheiben erreichen lässt, die hinter den kleineren Versuchsscheiben aufgestellt werden (Fig. 151, Bd. 1, S. 523). Bezeichnen wir die durch die Sectorenbreiten zu messenden wirklichen Helligkeiten der beiden Contrastscheiben mit h und d, und die an der variabeln, der Induction entzogenen Vergleichsscheibe gemessenen beiden Vergleichshelligkeiten mit h' und d', so sind $h' - h$ und $d - d'$ die wiederum in Sectorenbreiten bestimmten Contrastwirkungen, die erste Differenz die der Hellinduction des helleren, die zweite die der Dunkelinduction des dunkleren der beiden Ringe. Bleibt dann in weiteren Versuchsreihen der eine der beiden Contrastringe, z. B. der äußere, constant, während die Helligkeit des inneren verändert wird, so lässt sich nun auch dasjenige Verhältniss ermitteln, bei welchem die an der Einstellung der Vergleichsscheibe gemessene Stärke des Contrastes ein Maximum ist. Da es sich aber in diesen Versuchen jedesmal um zwei Bestimmungen, die des Hell- und die des Dunkelcontrastes, handelt, so werden sich als relative Contrastgrößen die Quotienten aus diesen beiden absoluten Contrasten $h' - h$ und $d - d'$ in die Helligkeit desjenigen Feldes betrachten lassen, das jedesmal als das inducirende gilt, also $\frac{h' - h}{d}$ und $\frac{d - d'}{h}$. Nach diesem Princip sind, mit verschiedenen Modificationen in der Anwendung, von ALFR. LEHMANN, H. NEIGLICK und A. KIRSCHMANN[1] Versuche ausgeführt worden, die sämmtlich zu dem Resultate führten, dass die absolute Größe der zur Herstellung eines Contrastmaximums erforderlichen Helligkeitsdifferenzen $h' - h$, $d - d'$ mit der Intensität des inducirenden Lichtes wächst, dass aber die relative Größe dieser Werthe innerhalb ziemlich weiter Grenzen constant bleibt[2]. Dies ist augenscheinlich ein

[1] ALFR. LEHMANN, Philos. Stud. Bd. 3, 1886, S. 516. H. NEIGLICK, ebend. Bd. 4, 1888, S. 27. KIRSCHMANN, ebend. Bd. 6, 1891, S. 457 ff.

[2] In LEHMANNS Versuchen zeigte sich im allgemeinen eine obere und eine untere Abweichung, analog wie bei dem WEBER'schen Gesetz für die Unterschiedsschwelle. In NEIGLICKS Beobachtungen traten regelmäßige periodische Abweichungen hervor, die wohl noch der näheren Untersuchung bedürfen. Vgl. über dieselben meine Bemerkungen in Philos. Stud. Bd. 4, 1888, S. 112 ff.

Resultat, das mit der oben erwähnten Beobachtung über die Constanz des Contrastes bei Betrachtung der Objecte durch graue Gläser übereinstimmt und gleich dieser beweist, dass für den Helligkeitscontrast annähernd das WEBER'sche Gesetz zutrifft, ein Ergebniss, mit welchem auch die Versuche von HESS und PRETORI, die bei künstlicher Beleuchtung im Dunkelraum ausgeführt wurden, im wesentlichen übereinstimmen[1].

Gegenüber dem Helligkeits- zerfällt nun der Farbencontrast, auch wenn man ihn nur in der Form des reinen Farbencontrastes, d. h. unter Beseitigung gleichzeitiger Helligkeitsunterschiede untersucht, in eine größere Zahl von Erscheinungen, da hier jede einzelne Farbe eine selbständige Berücksichtigung erheischt. Gleichwohl vereinfacht sich die Untersuchung in diesem Fall dadurch, dass, sobald ein farbloses inducirendes Feld gewählt wird, von der beim Helligkeitscontrast nie zu umgehenden Bedingung der wechselseitigen Induction abstrahirt werden kann. Denn das Grau übt ja seinerseits keine inducirende Farbenwirkung aus, so dass, wenn die Helligkeiten der Contrastobjecte gleich sind, die Wirkung eine einseitige bleibt: die farbige Fläche ist dann die inducirende, die farblose die inducirte, und die Stärke der Induction wird einfach durch die Intensität der Contrastfärbung gemessen, die auf dieser eintritt. Darum kann hier, mit den durch die veränderte Aufgabe gebotenen Modificationen, ein ähnliches Verfahren eingeschlagen werden, wie bei der Messung der Nachbildwirkungen, indem man sich einer Scheibencombination wie der in Fig. 197 *B* (S. 199) dargestellten bedient. Auf dem inneren, inducirenden Ring *N* finden sich Sectoren einer bestimmten Farbe mit Weiß (oder bei Episkotisterversuchen und durchfallendem Licht mit undurchsichtigen Sectoren) abwechselnd. Der äußere Ring *V* besteht aus Sectoren von gleicher Helligkeit, die aus Combinationen der Farbe in *N* mit ihrer Complementärfarbe so zusammengesetzt sind, dass sich beide zu Grau aufheben. Das Verhältniss dieser Sectoren wird nun bei den einzelnen momentanen Beobachtungen allmählich so lange abgestuft, bis der Contrast verschwindet. Statt dessen kann man aber auch hier wieder, ähnlich wie bei den Versuchen über den Helligkeitscontrast, eine besondere, räumlich getrennte Vergleichsscheibe anwenden, deren anfangs sich zu Weiß ergänzende Sectoren in den einzelnen Beobachtungsmomenten so lange verändert werden, bis sie eine der inducirten Farbe des diesmal constant erhaltenen Ringes *V* gleiche Färbung zeigen. Ist z. B. die inducirende Farbe roth, so erscheint auf *V* Grün als Contrastfarbe. Bei der ersten Methode wird dann *V* durch Vergrößerung der rothen Sectoren

---

[1] HESS und PRETORI, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 40, 4, 1894, S. 1 ff.

so lange variirt, bis es grau erscheint. Bei der zweiten Methode wird die selbständige Vergleichsscheibe durch die Vergrößerung ihrer grünen Sectoren so lange variirt, bis sie der inducirten Scheibe *V* gleich aussieht. In beiden Fällen ist es wieder nützlich, wenn die Messscheibe einem Rotationsapparat mit während der Rotation verstellbaren Sectoren angehört[1].

Die auf solche Weise ausgeführten Beobachtungen ergeben nun, dass sich die verschiedenen Farben hinsichtlich der Abhängigkeit der Contrastwirkung von den Sättigungsgraden durchaus gleichförmig verhalten. Bis zu einem bestimmten, bei Roth und Orange verhältnissmäßig kleinen, bei Grün und namentlich Blau erheblich höheren Farbengrad nimmt die durch die compensirende Farbe messbare Contrastgröße zuerst schnell und dann langsamer zu, um hierauf nahezu constant zu bleiben. Sobald jener relative Maximalwerth der inducirenden Farbe erreicht ist, fordert also eine bestimmte Zunahme des inducirenden Feldes an Sättigung fortan die gleiche Menge der den Contrast wieder aufhebenden Farbe im inducirten Felde. Die in Fig. 208 gezeichnete Curve veranschaulicht diese Verhältnisse.

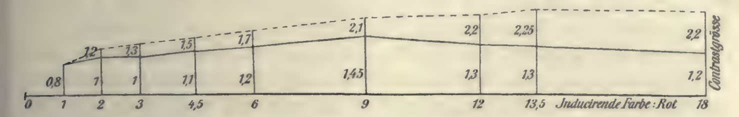


Fig. 208. Abhängigkeit der Contrastgröße von der Sättigung der inducirenden Farbe (Roth).

Die Abscissen bezeichnen zunehmende inducirende Farbengrade in Sectorenbreiten gemessen, die Ordinaten in denselben Maßen die den Contrast compensirenden Farbengrade im inducirten Felde, wobei jedesmal ein Sector von 20° als Einheit angenommen ist. Die Curve, die sich auf Carminroth als inducirende Farbe bezieht, steigt im Anfang rasch an, um dann fast vollkommen parallel der Abscissenlinie weiterzugehen. Die andern Farben liefern im wesentlichen ähnliche Ergebnisse. Nur zeigt sich, dass die absolute Größe der Contrastwirkung mit dem Uebergang zu den brechbareren Farben variirt, und dass jenes Maximum, von welchem an die absolute Contrastgröße constant bleibt, erst später, bei höheren

[1] Das Princip dieser Messung ist zuerst von A. Kirschmann und später in ganz übereinstimmender Weise von Pretori und Sachs angewandt worden. (Kirschmann, Philos. Stud. Bd. 6, 1891, S. 462. Pretori und Sachs, Pflügers Archiv, Bd. 60, 1895, S. 71.) Das Folgende nach neuerdings von Herrn J. Köhler im Leipziger psychologischen Laboratorium ausgeführten Versuchen. Die Versuche Kirschmanns beziehen sich hauptsächlich auf die oben (S. 218) erwähnten Einflüsse der Größe der inducirenden Flächen. Die Versuche von Pretori und Sachs sind für die Frage der Veränderungen des reinen Farbencontrastes mit wachsender Sättigung nicht wohl verwerthbar, weil bei ihnen die Bedingung der Gleichheit und Constanz der Helligkeiten der Objecte nicht eingehalten ist.

Sättigungsgraden, eintritt. Bezeichnen wir die einem bestimmten Sättigungsgrad F der Inducirenden entsprechende Contrastwirkung mit f, so lässt sich demnach dieses f durch denjenigen Zusatz der Inductionsfarbe zum inducirten Felde bestimmen, der eben zureicht, um den Contrast aufzuheben. So definirt ist dann f ein directes Maß der absoluten, und der Quotient $\frac{f}{F}$ ein ebensolches der relativen Contrastwirkung. Die durch die Curve dargestellte Gesetzmäßigkeit drückt somit aus, dass die absolute Contrastwirkung f nach ihrem ersten Ansteigen namentlich bei den Anfangsfarben des Spektrums fast vollkommen constant bleibt, indess die relative $\frac{f}{F}$ von jenem Maximum an mit wachsender Sättigung immer mehr abnimmt. Vergleicht man dieses Ergebniss mit dem oben für den Helligkeitscontrast gewonnenen, so fällt in die Augen, dass Helligkeits- und Farbencontrast völlig abweichenden Gesetzen folgen. Beim Helligkeitscontrast bleibt in weitem Umfang die relative, beim Farbencontrast bleibt, nachdem ein bestimmter, besonders beim Roth sehr niedrig liegender Maximalwerth erreicht ist, die absolute Größe des Contrastes constant. Wie die Helligkeit unmittelbar nicht bloß als eine Qualitäts-, sondern auch als eine Intensitätsänderung empfunden wird, so ordnet sich demnach der Helligkeitscontrast der allgemeinen Gesetzmäßigkeit unter, die für unsere Auffassung der Intensitätsverhältnisse überhaupt gilt. Der Farbencontrast dagegen hat, abgesehen von den zu seiner Entstehung erforderlichen Grenzbedingungen, innerhalb mehr oder minder weiter Grenzen für verschiedene Farbengrade einen annähernd constanten absoluten Werth. Die Zunahme der Sättigung gibt sich also auch in dieser Wirkung nicht als eine Intensitäts-, sondern als eine reine Qualitätsänderung zu erkennen. Zugleich scheinen sich diese Verhältnisse nicht wesentlich zu ändern, wenn man den Contrast mit geringer Florwirkung in den eigentlichen Florcontrast überführt, wie dies an den rotirenden Scheiben, wie oben erwähnt, mittelst der Beobachtung durch eine die scharfe Accommodation aufhebende Linse geschieht. Wählt man jeden der Contrastringe 4—5 cm groß, und dagegen die Linse so, dass der Irradiationsrand etwa 4 mm nicht überschreitet, so kann bei einer Beobachtung von 1—2 Sec. wiederum eine directe Ausbreitung der Irradiationszone über den Contrastring nicht in Betracht kommen. Demnach kann auch hier nur eine indirecte Wirkung der Zerstreuungszone der eintretenden Veränderung zu Grunde liegen. Die in Fig. 208 mit unterbrochenen Linien gezeichnete Curve entspricht den unter diesen Bedingungen gewonnenen Werthen des Florcontrastes, auf die gleichen inducirenden Farbengrade bezogen, wie der in der ausgezogenen dargestellte gewöhnliche Scheibencontrast. Der Unterschied zwischen beiden

besteht darin, dass, nachdem der Contrast bei demselben Punkte und annähernd im gleichen Grade merklich geworden ist, sofort der Florcontrast etwas rascher ansteigt, und sich dann ebenfalls auf gleicher Höhe hält, so dass die ihn repräsentirende Linie wiederum annähernd parallel der Abscissenlinie verläuft. Demnach ist die absolute Größe des Contrastes bei der Florwirkung bei allen Farbengraden absolut genommen größer, besonders aber übersteigt der relative Werth $\frac{f}{F}$ in einem dem Anfang nahe liegenden Theil der Curve weit die gewöhnliche Contrastwirkung. Hierin findet augenscheinlich die schon bei den qualitativen Beobachtungen sich aufdrängende Begünstigung der Florwirkung ihre Bestätigung. Die Frage, worin diese Unterschiede begründet sind, wird sich aber nur im Zusammenhang mit der Untersuchung der allgemeinen Ursachen der Contrasterscheinungen erledigen lassen. (Vgl. unten k.)

Für die Untersuchung und Unterscheidung der verschiedenen Contrastformen ist die Ergänzung der qualitativen Beobachtungen der Contrastphänomene durch ihre quantitative Verfolgung unter verschiedenen Bedingungen ein unbedingtes Erforderniss, wie schon die Thatsache beweist, dass in der Regel auf Grund jener qualitativen Beobachtungen der Contactcontrast mit dem Florcontrast und manchmal mit beiden sogar der Randcontrast, trotz der wesentlich abweichenden Gesetzmäßigkeit dieser Erscheinungen, zusammengeworfen, und ebenso von vornherein der Farben- als ein mit dem Helligkeitscontrast identisches Phänomen betrachtet wurde. Nun ist es allerdings ein Uebelstand, dass wir außer den rotirenden Scheiben, deren Erscheinungen selbst schon in das Gebiet des Florcontrastes hinüberreichen, zweckmäßige Hülfsmittel zur Messung der Contraststärken nicht besitzen. Es bleibt daher nur übrig, den Unterschieden zwischen Contact- und Florcontrast in der Weise nachzugehen, dass man, wie oben geschildert, Versuchsbedingungen herstellt, bei denen die Florwirkung bald möglichst reducirt, bald durch die Variation der Contureneinflüsse beliebig gesteigert wird. Die unter diesen verschiedenen Bedingungen anzuwendende Versuchsanordnung ist in Fig. 209 schematisch dargestellt. Vor einem Hintergrund H, der in einem den Helligkeitscontrast mit den eigentlichen Contrastobjecten möglichst

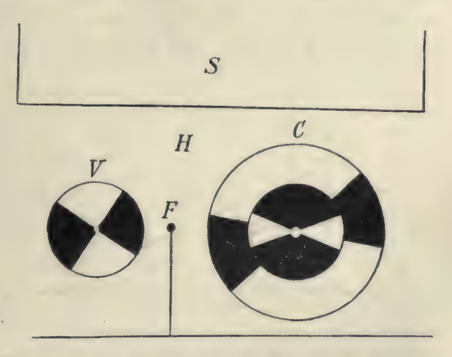


Fig. 209. Versuchsanordnung zur Messung der Contrastwirkungen.

ausschließenden Grau besteht, das eventuell, namentlich bei der Untersuchung des Helligkeitscontrastes, variirt werden kann, befindet sich die aus zwei Ringen zusammengesetzte Contrastscheibe *C* und die einfache Vergleichsscheibe *V*, zwischen und vor beiden das Fixirzeichen *F*. Der mit *H* übereinstimmende, aus einem indifferenten Grau bestehende Schirm *S* kann durch eine einfache Hebelvorrichtung momentan gehoben und herabgelassen werden. Im herabgelassenen Zustand verdeckt er die Scheiben, lässt aber das vor ihnen stehende Fixirzeichen sichtbar. Die Versuche werden nun so ausgeführt, dass der Beobachter zuerst *F* fixirt, dann während einer Zeit von 1—2 Sec. den Schirm hebt und sofort wieder senkt, in der entstehenden Pause die Vergleichsscheibe, die wo möglich an einem vom Platze des Beobachters aus regulirbaren Marbe'schen Rotationsapparat befestigt ist, um eine sehr kleine Größe verstellt, und so in den folgenden Versuchen bis zu erreichter Gleichheit mit der inducirten Helligkeit oder Farbe fortfährt. Bedient man sich, wie es bei der Untersuchung des Farbencontrastes geschehen kann, bloß einer einzigen Scheibe *C* von der in Fig. 197 *B* dargestellten Beschaffenheit, so wird das Fixirzeichen *F* direct vor *C* gestellt, am zweckmäßigsten so, dass es auf den inducirten Ring in zureichender Entfernung von der Zone des Randcontrastes trifft. Sichere Fixation während der kurzen Expositionszeiten ist natürlich in allen Versuchen erforderlich.

Was diese quantitativen Untersuchungen vor allem feststellen, ist nun 1) das gänzlich abweichende Verhalten des Helligkeits- und des reinen Farbencontrastes, und 2) die Begünstigung der inducirenden Wirkung durch unbestimmte Begrenzung der Conturen, wobei die letztere Wirkung sich zugleich von der directen der Irradiation unabhängig erweist. Deutlicher noch als an der in Fig. 208 dargestellten Curve tritt dieser Einfluss dann hervor, wenn man die Differenz beider Contraste, des gewöhnlichen f_1 und des Flor f_2, im Verhältniss zum Sättigungsgrad der inducirenden Farbe berechnet, und die so erhaltenen Werthe $\frac{f_2 - f_1}{F}$ als Ordinaten auf der Abscissenlinie der *F* errichtet. Man erhält so die in Fig. 210 für Roth ausgeführte Curve, der

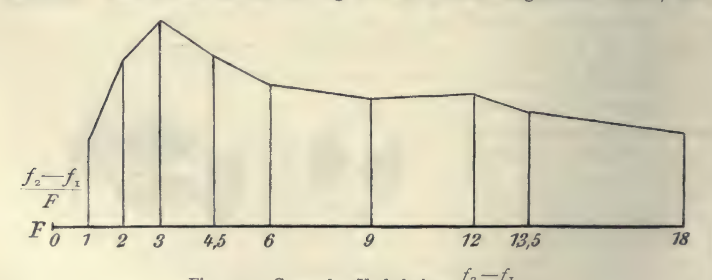


Fig. 210. Curve des Verhältnisses $\frac{f_2 - f_1}{F}$.

die für andere inducirende Farben geltenden im wesentlichen gleichen. Das Maximum der relativen Florwirkung liegt stets bei annähernd denselben, sehr bald dem ersten Ansteigen der Curve folgenden Sättigungsgraden.

Die folgende kleine Tabelle gibt eine Uebersicht dieses Verhaltens für die drei Farben Roth, Grün und Blau, unter Anwendung von Pigmentfarben, nach Versuchen von J. Köhler. F bezeichnet die Sättigungsgrade der Inducirenden in Sectorenbreiten, f_1 die Contrastwerthe bei gewöhnlichem (bez. minimalem Flor-), f_2 dieselben bei Florcontrast, nach der angegebenen Methode durch die zur Aufhebung des Contrastes erforderlichen Farbengrade gemessen:

Roth.

F	20	40	60	90	120	180	240	270	360
f_1	16	20	20	22	24	29	26	26	24
f_2	16	24	27	30	34	38	42	42	44

Grün.

F	20	40	60	80	120	140	180	220	260	300	360
f_1	14	24	28	30	32	32	34	36	37	38	40
f_2	16	28	34	37	42	44	48	52	57	60	62

Blau.

F	20	40	60	80	100	120	160	180	220	260	300	360
f_1	16	30	34	38	40	41	44	46	50	54	56	58
f_2	17	34	42	48	52	56	60	62	68	72	74	76

Diese Uebersicht zeigt, dass im Roth der Contrast am schnellsten ansteigt, und dass zugleich die Constanz der absoluten Contrastwerthe hier am größten ist. Im Grün und im Blau ist der Anstieg bedeutender und erstreckt sich über einen längeren Theil der Curve.

Schließlich sei hier noch darauf hingewiesen, dass, wie bei den Nachbildern (S. 207), so auch bei den Contrasterscheinungen, und bei ihnen augenfälliger als bei jenen, die Synergie der beiden Augen in gewissen Wechselwirkungen der Helligkeits- und Farbenempfindungen hervortritt, die sich dem Begriff eines binocularen Contrastes unterordnen. Dieser gleicht in seinen Erscheinungen ganz dem auf einer und derselben Netzhaut erzeugten, mit dem Unterschied, dass die inducirende Empfindung dem einen, die inducirte dem andern Auge angehört. Da jedoch diese Wechselwirkungen mit den sonstigen Functionen des binocularen Sehens nahe zusammenhängen, so können sie erst später in Verbindung mit diesen erörtert werden[1]. Hier sei nur hervorgehoben, dass sie, entsprechend dem allgemeinen Charakter des Contrastes, auf centralere Verbindungen zwischen den empfindenden Flächen beider Augen hinzuweisen scheinen, als die sie begleitenden und oft schwer von ihnen zu trennenden binocularen Nachbilderscheinungen[2]. Wie wir als die wahrscheinlichen Uebertragungsstellen für die letzteren die Mittelhirncentren betrachten konnten, so werden daher möglicher Weise als die Ursprungsstätten der im binocularen Contrast zu Tage tretenden Wechselbeziehungen beider Netzhäute die Großhirnendigungen der Opticusbahnen (Bd. 1, S. 184) anzusprechen sein.

[1] Vgl. Abschn. III, Cap. XIV.

[2] E. B. Titchener, Philos. Stud. Bd. 8, 1893, S. 308 f. Siehe oben S. 207.

g. Anomalien der Farbenempfindung: Farbenblindheit.

Wie in allen andern Sinnesgebieten, und am ausgeprägtesten in denen der chemischen Sinne individuelle Abweichungen der Empfindungssysteme vorkommen, die sich in ihren geringeren Graden als verschiedene Empfindlichkeit und in ihren höheren als völlige Unempfindlichkeit für gewisse Reize geltend machen, so beobachtet man solche Anomalien vielfach auch beim Gesichtssinn. Sie äußern sich hier namentlich in den Erscheinungen, die man unter dem Namen der Farbenblindheit zusammenzufassen pflegt, wobei man unter diesem Ausdruck nicht bloß solche Zustände versteht, in denen überhaupt keine Farben empfunden werden, sondern auch diejenigen, wo die Empfindung nur für irgend welche einzelne Farben mangelt. Diese Zustände unvollständiger Farbenempfindung gehen dann aber wieder in solche über, in denen überhaupt keine Empfindung fehlt, sondern nur die Empfindlichkeit für gewisse Farben herabgesetzt ist. Die sogenannte Farbenblindheit umfasst daher Erscheinungen, die durch alle möglichen Zwischenstufen zu den noch in die Breite des normalen Empfindens fallenden individuellen Abweichungen überführen. Solche geringere Abweichungen sind aber so verbreitet, dass möglicher Weise kein einziges individuelles Farbensystem einem andern vollkommen gleicht. Jene stärkeren, als totale oder partielle Farbenblindheit bezeichneten Anomalien dagegen sind in der Regel angeborene und in manchen Fällen nachweislich vererbte Zustände, die meist auf beiden Augen zugleich, nur in seltenen Fällen auf einem allein vorkommen.

Unter allen diesen Anomalien bildet die angeborene totale Farbenblindheit die äußerste Abweichung vom normalen Verhalten. Sie ist durchweg mit andern Anomalien, namentlich mit Mangel des Pigments (Albinismus), erhöhter Empfindlichkeit für Helligkeiten und mangelhafter Sehschärfe verbunden. Ein Gemälde wird in solchen Fällen wie eine Zeichnung gesehen, alle Schatten und Helligkeitsstufen vollkommen deutlich, aber keine Farbe von der andern verschieden. Ebenso wird das Spektrum nur als ein lichtes Band gesehen, in welchem aber die Helligkeiten gerade so vertheilt sind wie in dem Spektrum des farbentüchtigen Auges[1]. Häufiger als diese sehr seltenen Fälle angeborener sind

[1] Fälle totaler angeborener Farbenblindheit sind genauer beschrieben und untersucht von HERING (PFLÜGERS Archiv, Bd. 49, 1891, S. 563), HIPPEL (Festschrift der Universität Halle, 1894), RÄHLMANN (Zeitschrift für Augenheilkunde, Bd. 2, S. 315, 403). In einem weiteren Fall von KÖNIG (Zeitschrift für Psychologie, Bd. 7, 1894, S. 161) war die Farbenblindheit eine nahezu, aber nicht vollkommen totale. In einem von UHTHOFF beobachteten (Zeitschrift für Psychologie, Bd. 20, 1898, S. 326) war zugleich ein centrales Skotom vorhanden, so dass dieser Fall wohl schon in den Bereich der erworbenen Farbenblindheit gehört.

diejenigen erworbener, und dann stets zugleich circumscripter, oft auf einzelne sehr kleine Stellen beschränkter totaler Farbenblindheit. Ich hatte Gelegenheit, eine solche an meinem eigenen rechten Auge vor der Ausbildung eines »negativen Skotoms« (der völligen Erblindung der betreffenden Stelle) in Folge einer disseminirten Aderhautentzündung zu beobachten. Während des Uebergangsstadiums der totalen Farbenblindheit erschien irgend ein farbiges Papierschnitzel, das im Netzhautbild die Stelle deckte, grau, dabei aber vollkommen in derselben Helligkeit wie ein gleich gefärbtes Papierschnitzel, das sich auf einer benachbarten farbentüchtigen Stelle abbildete, ganz in Uebereinstimmung mit der bei diffuser totaler Farbenblindheit beobachteten Helligkeitsvertheilung im Spektrum[1]. Somit erweisen sich bei diesem Zustand sehr augenfällig Helligkeits- und Farbenerregungen als von einander unabhängige Vorgänge.

Weit verbreiteter als die totale ist die partielle Farbenblindheit. Wo sie als angeborener Zustand auf beiden Augen vorkommt, da verbirgt sie sich zunächst der unmittelbaren Beobachtung, weil dem Farbenblinden das System der normalen Farbenempfindungen völlig unbekannt ist. Nur aus der genauen Vergleichung der Verwechslungen verschiedener Farben, namentlich solcher, die man am Farbenkreisel oder an sonstigen Farbenmischapparaten[2] hergestellt hat, unter Umständen aus der Bestimmung der fehlenden Theile des Sonnenspektrums lässt sich daher die individuelle Natur eines solchen unvollständigen Empfindungssystems ermitteln. Die so ausgeführte Untersuchung zeigt, dass die mit angeborener Farbenblindheit behafteten Individuen, deren Gesammtzahl nach HOLMGRENS statistischer Berechnung durchschnittlich zwischen 3 und 6 Proc. der Bevölkerung schwanken soll, in verschiedene Classen zerfallen, bei denen sich die Verwechslungen der Farbentöne wieder sehr abweichend verhalten[3]. Von einer ersten Classe, welche die zahlreichste ist, werden Roth und Grün mit einander und mit Grau verwechselt, während die brechbareren Farben sämmtlich gut unterschieden werden. Innerhalb dieser Classe existiren aber wieder drei Unterclassen: der ersten fehlen die Empfindungen Roth und Grün, die zweite umfasst Fälle bloßer Roth-, die dritte und seltenste solche reiner Grünblindheit. Die letzteren unterscheiden sich dadurch, dass die Rothblinden helles Roth mit dunklem Grün, die Grünblinden dunkles Roth mit hellem Grün verwechseln. Bei

---

[1] Ueber einige ähnliche Fälle circumscripter Farbenblindheit berichten LEBER, in GRAEFE und SÄMISCH, Handbuch der Augenheilkunde, Bd. 5, 2, S. 1036. ANGSTEIN, Archiv für Augenheilkunde, Bd. 14, S. 347.

[2] Vgl. oben S. 163 ff.

[3] HOLMGREN, Die Farbenblindheit in ihren Beziehungen zu den Eisenbahnen und zur Marine. 1878.

den Rothblinden ist das rothe Ende des Spektrums meist verkürzt, von den Grünblinden wird der mittlere, zwischen Gelb und Blau gelegene Theil mit Grau verwechselt; außerdem ist die Grünblindheit augenscheinlich ein minder gleichförmiger Zustand, da bei ihr die Zone der geringsten Empfindlichkeit bald mehr gegen Roth bald mehr gegen Blau verschoben erscheint, und da bei ihr alle möglichen Uebergangsstufen zur normalen Farbenempfindlichkeit vorzukommen scheinen, während man solche bei der Rothblindheit seltener beobachtet[1]. Die zweite Hauptclasse der Farbenblinden, die Violettblinden, Blaublinden oder Blaugelbblinden, ist viel seltener. Blau und Gelb werden von ihnen nur an ihrer Helligkeit unterschieden, sonst aber mit Grün oder Grau verwechselt, und der brechbarste Theil des Spektrums scheint dabei in einzelnen Fällen mehr oder minder erheblich verkürzt zu sein. Künstlich lässt sich ein vorübergehender Zustand von Violettblindheit durch den Genuss von Santonin hervorrufen. Dabei werden helle Objecte gelb oder grüngelb, dunkle, theils wahrscheinlich in Folge subjectiver Reizung theils als Contrastwirkung, violett gesehen, während gleichzeitig das violette Ende des Spektrums verkürzt ist[2]. Abgesehen von diesen beiden Hauptclassen zeigt nun aber die objective Prüfung einer großen Zahl Farbenblinder, dass für jede beliebige Wellenlänge verminderte Empfindlichkeit oder Unempfindlichkeit bestehen kann, wobei sich dieser Zustand bald auf eine einzige Region des Spektrums beschränkt, bald über einige von einander getrennte Regionen erstreckt. Im allgemeinen scheint nur die Unempfindlichkeit für die minder brechbaren Farben (Roth bis Grün) häufiger vorzukommen als die für die brechbareren[3]. Die obigen Bezeichnungen verdanken daher wohl zum Theil der bevorzugten Stellung, die Roth, Grün und Violett, bezw. Blau, im Spektrum einnehmen, und einigermaßen wohl auch dem Umstand, dass die meisten dieser Farben zu den schon in den sprachlichen Bezeichnungen bevorzugten Hauptfarben in dem oben S. 145 angeführten Sinne gehören, ihren Ursprung. Immerhin scheint es, dass bei aufgehobener Empfindlichkeit für irgend eine Farbe besonders leicht auch für die zu ihr complementäre eine aufgehobene oder verminderte Empfindlichkeit besteht. In manchen Fällen

---

[1] DONDERS, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 27, 1, 1881, S. 155. Bd. 30, 1, 1884, S. 15, und Archiv für Physiologie, 1884, S. 518. KÖNIG und DIETERICI, Abhandlungen der Berliner Akademie, 29. Juli 1886, und Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane, Bd. 4, 1892, S. 241 ff.

[2] ROSE, VIRCHOWS Archiv, Bd. 19, 1860, S. 522. Bd. 20, S. 245. Bd. 28, 1863, S. 30. HELMHOLTZ, Physiologische Optik[2], S. 361.

[3] Vgl. übrigens KIRSCHMANN, Philos. Stud. Bd. 8, 1893, S. 428, und einen charakteristischen Fall von Blaublindheit bei VON VINTSCHGAU, PFLÜGERS Archiv, Bd. 48, 1890, S. 431.

partieller Farbenblindheit ist aber die Farbenempfindlichkeit zugleich insofern verändert, als die Verhältnisse der Complementärfarbenpaare eine Verschiebung erfahren[1]. Dagegen ist die Unterschiedsempfindlichkeit für Helligkeiten bei der partiellen Farbenblindheit in der Regel nur bei denjenigen Wellenlängen beeinträchtigt, die im Spektrum des Farbenblinden fehlen[2].

Monoculare Farbenblindheit ist in einigen Fällen als congenitaler Zustand[3], in anderen vorübergehend als Begleiterscheinung des sog. Hypnotismus bei einseitiger Erzeugung desselben beobachtet worden[4]. In mehreren dieser Fälle ließ sich feststellen, dass einzelne Theile des Spektrums nicht farbig sondern grau empfunden wurden, und dass bestimmte Farbentöne in dem Spektrum des farbenblinden Auges fehlten. So unterschied ein einseitig Rothgrünblinder HOLMGRENs nur Gelb und Blau, das rothe Ende des Spektrums fehlte, und zwischen Gelb und Blau fand sich eine schmale farblose Zone; ein einseitig Violettblinder unterschied nur Roth und Grün, das violette Ende fehlte, und die weiße Zone befand sich im Gelbgrün. In einem von KIRSCHMANN sorgfältig untersuchten Falle fehlten im farbenblinden Auge Gelb, Grün und Violett und erwies sich spektrales Roth zu Blau complementär[5].

Wie das System der Farbenempfindungen des normalen, farbentüchtigen Auges mit dem für dasselbe gültigen Mischungsgesetz symbolisch durch eine Fläche dargestellt werden kann, deren Begrenzungslinie sich einem Dreieck nähert, dessen Ecken durch die drei Grundfarben gebildet werden, so lässt sich nun natürlich auch das Farbensystem eines farbenblinden Auges jedesmal durch irgend ein analoges geometrisches Gebilde veranschaulichen; und die eigenthümliche Abweichung, die dieses von der Farbenfläche des normalen Auges darbietet, gibt dann ein Bild ebensowohl der Empfindungsverhältnisse eines solchen Auges wie der für dasselbe geltenden Gesetze der Farbenmischung. Bezeichnet man die

---

[1] KIRSCHMANN, Philos. Stud. Bd. 8, 1893, S. 212 ff.

[2] A. KÖNIG, Beiträge zur Physiologie u. Psychologie. Festschrift für HELMHOLTZ. 1894.

[3] O. BECKER, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 25, 2, 1879, S. 205 (Fall von monocularer totaler Farbenblindheit). VON HIPPEL, ebend. Bd. 26, 2, 1880, S. 176, und Bd. 27, 3, 1881, S. 47. HOLMGREN, Centralbl. f. d. med. Wiss. 1880, S. 398, 913. HESS, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 36, 3, 1890, S. 24. HERING, PFLÜGERS Archiv, Bd. 49, 1891, S. 563. (In beiden letzteren Fällen existirte vollständige Rothblindheit, während die Empfindlichkeit für Grün sowohl wie für alle andern Farben nur vermindert war.) KIRSCHMANN, Philos. Stud. Bd. 8, 1893, S. 196 ff.

[4] HEIDENHAIN und GRÜTZNER, Breslauer ärztl. Zeitschr. 1880, Nr. 4. COHN, ebend. Nr. 6. Umgekehrt soll sich nach COHN bei Personen mit angeborener Farbenblindheit in Folge der Hypnotisirung ein normaler Farbensinn herstellen können. (Deutsche med. Wochenschr. 1880, Nr. 16.) Doch dürfte hier wohl eher eine Suggestion der Farbennamen als eine Aenderung der Empfindung anzunehmen sein. Ueber die Bedingungen und Erscheinungen des Hypnotismus im allgemeinen vgl. unten Abschn. V.

[5] KIRSCHMANN, a. a. O. S. 200 ff.

Hauptformen der so entstehenden Farbensysteme nach der Zahl der in ihnen eine ausgezeichnete Stellung einnehmenden Grundfarben, so lassen sich diese sämmtlichen Systeme als achromatische, dichromatische und trichromatische unterscheiden. Monochromatische Systeme, d. h. Zustände, in denen außer dem Farblosen nur eine Farbe empfunden würde, scheinen nicht oder höchstens als Annäherungen an den achromatischen Zustand vorzukommen[1]. Achromatisch ist das System des total farbenblinden Auges: in ihm reducirt sich die Farbenfläche auf den Punkt des Weiß; und, wenn man das System der reinen Helligkeitsempfindungen in die Darstellung mit aufnimmt, so reducirt sich das dreidimensionale System des farbentüchtigen Auges, der Farbenkegel oder die Farbenkugel, auf eine einzige gerade Linie, die der farblosen Empfindungen. In vielen Fällen partieller Farbenblindheit lassen sich sodann die sämmtlichen Farben, die empfunden werden, nebst dem Weiß durch bloß zwei Grundfarben herstellen: die dichromatischen Systeme. Dahin gehören die Fälle von Roth-, Grün- und Rothgrünblindheit, aber auch die von Blau- und von Gelbblaublindheit. In den einzelnen Fällen sind die zu wählenden Grundfarben, auch wenn der Zustand der gleichen allgemeinen Classe angehört, nicht ganz dieselben. So lassen sich bei dem reinen Rothblinden die sämmtlichen Farben nebst dem Weiß aus Grün und Violett zusammensetzen, bei dem Rothgrünblinden verschieben sich die Grundfarben nach Gelb und Blau. Analoge Schwankungen sind wohl bei den selteneren Blau- und Gelbblinden vorhanden. Auch ist zu bemerken, dass man in vielen Fällen von sogenannter Dichromasie zwar alle Farbenqualitäten, nicht aber alle Sättigungsstufen mit bloß zwei Farben herstellen kann. Das trichromatische System ist das des normalen Auges. Es kommen aber auch von dem normalen abweichende trichromatische Systeme vor, die meist Annäherungen an das dichromatische der Roth- oder der Rothgrünblinden sind. Diese Fälle hat man als »unvollkommene Trichromasie« bezeichnet[2]. Schon die mannigfachen Uebergänge, die sich hier zwischen den einzelnen Formen der Farbensysteme und ihren individuellen Abweichungen vorfinden, zeigen deutlich, dass, wie die drei Grundfarben des normalen Farbensystems lediglich ein

[1] Meist wird der Ausdruck »monochromatisch« für die totale Farbenblindheit gebraucht (HELMHOLTZ, Physiologische Optik[2], S. 359). Er ist aber jedenfalls besser durch »achromatisch« zu ersetzen, nicht nur weil er in den Fällen wirklicher totaler Farbenblindheit thatsächlich falsch ist, sondern weil man ihn auch für die immerhin möglichen Fälle vorbehalten sollte, wo keine vollständige Achromasie, sondern eine schwache Empfindlichkeit für eine Farbe noch existirt.

[2] Ueber Farbensysteme Farbenblinder vgl. besonders F. C. DONDERS, Archiv für Physiologie, 1884, S. 518. Archiv für Ophthalmologie, Bd. 30, 1, 1884, S. 15. KÖNIG und DIETERICI, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 4, 1893, S. 241. HELMHOLTZ, ebend. S. 108. J. VON KRIES, ebend. Bd. 19, 1898, S. 63.

Ausdruck des Mischungsgesetzes sind, ohne über das Zustandekommen oder die Zusammensetzung unserer Farbenempfindungen irgend etwas auszusagen (S. 154), so auch die Namen »Dichromasie« und »unvollständige Trichromasie« nur so lange eine Berechtigung besitzen, als man in ihnen die Abweichungen des Mischungsgesetzes für das partiell farbenblinde Auge zusammenfasst, dass es aber nicht im geringsten berechtigt ist, einen solchen Ausdruck für die Mischungsphänomene ohne weiteres auf die Empfindungen selbst zu übertragen. Nur die besondere Stellung, die der »Achromasie« zukommt, besonders aber der Umstand, dass die bei ihr vorhandenen Helligkeitsempfindungen völlig von der Anomalie der Farbenempfindung unberührt bleiben können, machen auch vom Gesichtspunkt dieser Störungen der Empfindung aus die relative Unabhängigkeit der Helligkeits- von den Farbenempfindungen in hohem Grade wahrscheinlich.

Zur Untersuchung Farbenblinder kann man sich im allgemeinen dreier Methoden bedienen, die bei einer gründlichen Untersuchung zweckmäßig einander folgen. Eine vorläufige Orientirung gewinnt man durch die Methode der Farbenproben. Wollproben oder Schrifttafeln mit verschiedener Färbung der Buchstaben werden vorgelegt, und aus den begangenen Verwechselungen oder aus der Unfähigkeit, eine farbige Schrift auf andersfarbigem Grunde zu lesen, lässt sich in der Regel schon ziemlich sicher der allgemeine Charakter der bestehenden Anomalie erschließen. Daran reiht sich als zweite Methode die zuerst von MAXWELL angewandte Prüfung mit dem Farbenkreisel. Man verwendet entweder zwei Scheiben oder lässt die verschiedenen Zonen einer einzigen vergleichen, auf denen man die Mischungen durch verschieden gefärbte Sectoren hervorbringt. Man stellt so diejenigen Verhältnisse von Pigmentfarben und von Schwarz mit Weiß her, bei denen die Mischungen von dem Farbenblinden gleich empfunden werden. Auf diese Weise gewinnt man Farbengleichungen, in denen der Antheil der einzelnen Pigmente oder Helligkeiten an der Mischung durch die Winkelbreite der Sectoren ausgedrückt ist. Z. B. 200 Roth + 160 Blau = 195 Schwarz + 165 Weiß würde bedeuten, dass für ein bestimmtes Auge diese bestimmte Mischung aus Roth und Blau der andern aus Schwarz und Weiß, die dem normalen Auge grau erscheint, äquivalent ist. Die dritte Methode ist die Einwirkung des Spektrums und spektraler Mischungen, wozu die oben (S. 165 ff.) beschriebenen Mischapparate verwendet werden können. Sie entscheidet erst mit Sicherheit über das etwaige Fehlen einzelner Theile des Spektrums sowie über die Helligkeitsverhältnisse desselben[1].

---

[1] Vgl. hierzu HELMHOLTZ, Physiologische Optik[2], S. 299. SNELLEN und LANDOLT, in GRAEFE und SÄMISCHs Handbuch der Augenheilkunde, Bd. 3, 1, S. 39. HOLMGREN, Die Farbenblindheit in ihrer Beziehung zu den Eisenbahnen und zur Marine. 1878. DONDERS, Ueber Farbensysteme. Archiv für Ophthalmologie, Bd. 27, 1, 1881, S. 155 ff. KIRSCHMANN, Philos. Stud. Bd. 8, 1893, S. 173, 402 ff. KÖNIG und DIETERICI, Abhandl. der Berliner Akademie, 29. Juli 1886, und Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane, Bd. 4, 1892, S. 241 ff. W. NAGEL, Die Diagnose der praktisch wichtigen angeborenen

Die Litteratur über Farbenblindheit ist gegenwärtig eine fast unabsehbare geworden. Physiologen, Psychologen, Ophthalmologen haben sich, die einen aus theoretischem, die andern aus praktischem Interesse oder aus beiden Gründen zugleich, auf das eifrigste mit der Untersuchung Farbenblinder beschäftigt[1]. Der Fortschritt der Untersuchungen hat jedoch, wie man heute wohl sagen darf, nicht ganz den Erwartungen entsprochen, die ursprünglich in theoretischer Hinsicht an diese Erscheinungen geknüpft wurden, oder vielmehr: er hat vielfach die ursprünglich aufgeworfenen Fragen in einem den Erwartungen entgegengesetzten Sinne beantwortet. Hatte man gehofft, je nach den Vorstellungen, mit denen man an die Erscheinungen herantrat, entweder die Hypothese der drei oder die der vier farbigen Grundempfindungen (siehe unten h) bestätigt zu finden, so kann heute für jeden die Dinge unbefangen betrachtenden Beobachter nichts gewisser sein als dies, dass weder das eine noch das andere der Fall ist, dass vielmehr die einzige, übrigens zureichend auch schon durch die normalen Erscheinungen des Sehens gestützte Thatsache die relative Unabhängigkeit der Helligkeits- und der Farbenempfindungen ist, während für die letzteren eine ähnliche Selbständigkeit fest bestimmter Elementarempfindungen nicht nachgewiesen werden kann und im Hinblick auf die mannigfachen Beziehungen der Farbenempfindungen zu einander eigentlich immer unwahrscheinlicher geworden ist. Wenn das heute in der Regel noch nicht anerkannt wird, so liegt der augenfällige Grund darin, dass man sich in der »unvollkommenen Trichromasie« und ähnlichen Hülfsbegriffen Nothbrücken geschaffen hat, mit denen man sich vorläufig noch über das Scheitern aller solcher Versuche, bestimmte Sehhypothesen durch die Beobachtungen an Farbenblinden zu beweisen, hinwegtäuscht. Da man nicht nur an die Untersuchung der Erscheinungen der Farbenblindheit im ganzen, sondern sogar an die Beobachtung der einzelnen Fälle sofort mit einer abgeschlossenen Theorie heranzutreten pflegt, so ist auch kaum zu erwarten, dass sich bei dieser Untersuchung etwas anderes herausstellen werde als eben eine wohl oder übel zu stande kommende Bestätigung dessen was eine solche Theorie fordert. Darum ist die Geschichte der Farbenblindheit in ihrer engen Verschwisterung mit der Geschichte der Farbentheorien ein belehrender Beleg für die alte BACON'sche Warnung vor den »idola theatri«, vor jenen »Götzenbildern des Verstandes«, als die er die Meinungen der Schulen ansah. Zudem hat aber die trügerische Hoffnung, die man den Symptomen der Farbenblindheit entgegenbrachte, nicht wenig dazu beigetragen, die Aufmerksamkeit der Physiologen und Psychophysiker von den Quellen abzulenken, aus denen doch eine Theorie der Lichtempfindungen vor allen Dingen schöpfen sollte, von den normalen Empfindungen; oder man hat wohl auch auf diese dasselbe Verfahren übertragen, das in den Erörterungen der Farbenblindheit vorwaltet. Statt irgend welche Erscheinungen objectiv zu schildern, zieht man es meistens vor, sie von Anfang an in die Sprache einer bestimmten Theorie einzukleiden. Nachdem dies im Vorangegangenen geflissentlich vermieden worden ist, werden wir uns

---

Störungen des Farbensinnes. 1899. J. STILLING, Pseudoisochromatische Tafeln für die Prüfung des Farbensinnes[3]. 1900.

[1] Die ältere Litteratur und die neuere bis zum Jahr 1894 hat ARTH. KÖNIG zusammengestellt in seiner der 2. Aufl. von HELMHOLTZ' Physiolog. Optik beigegebenen Litteraturübersicht, S. 1173 ff. Die neueste Litteratur findet man in den physiologischen und psychologischen Jahresberichten.

nunmehr freilich, am Schlusse dieser Betrachtung der einzelnen Erscheinungen, einer kritischen Beleuchtung der aufgestellten Theorien nicht länger entziehen dürfen.

h. Hypothesen über Licht- und Farbenempfindungen: Componententheorien.

Eine Theorie der Lichtempfindungen hat selbstverständlich die Aufgabe, so weit wie möglich von den sämmtlichen Erscheinungen Rechenschaft zu geben, die wir oben im Einzelnen kennen gelernt haben. Dahin gehören vor allem: 1) die subjectiven Beziehungen der Lichtqualitäten, wie sie in der geschlossenen Gestalt der Farbencurve und in dem Uebergang aller Farbentöne ins Farblose ihren Ausdruck finden, 2) das Mischungsgesetz, das in seiner einfachsten Formulirung auf drei Grundfarben zurückführt, 3) die Verhältnisse des Verlaufs der Lichterregung und der Nachbilder, 4) die Wechselwirkungen gleichzeitiger Lichterregungen oder die Contrasterscheinungen, und endlich 5) die Anomalien der Farbenempfindung, insbesondere die Erscheinungen der totalen und der partiellen Farbenblindheit.

Nun sind die aufgestellten Hypothesen meistens einseitig von einigen wenigen der hier hervorgehobenen Gruppen von Thatsachen oder sogar nur von einer unter ihnen ausgegangen. Zunächst war es die subjective Verwandtschaft der beiden Endfarben des Spektrums, welche die Aufmerksamkeit auf sich zog. Diese Verwandtschaft wurde schon von NEWTON[1] in Analogie gebracht mit der Beziehung des Grundtons zu seiner Octave im Gebiet der Töne, eine Beziehung, die späterhin noch darin eine Stütze zu finden schien, dass die Undulationstheorie für das Violett nahezu die doppelte Anzahl Schwingungen annehmen ließ als für das Roth[2]. Obgleich nun aber der Versuch, diese Analogie auch auf die zwischenliegenden Farbenintervalle auszudehnen, nicht durchführbar ist[3], und überhaupt vermöge der völligen Verschiedenheit der Reizungsvorgänge in beiden Sinnesorganen die nöthige Grundlage einer solchen Vergleichung fehlt, so lässt sich immerhin nicht bestreiten, dass der Beziehung

[1] NEWTON, Optice, lib. 1, pars II.

[2] Vgl. S. 140 Anm. 1.

[3] Nach UNGER (POGGENDORFFS Annalen, Bd. 87, 1852, S. 121) bilden Roth, Grün und Violett einen dem Duraccord analogen consonanten Dreiklang. Die von DROBISCH (Abhandl. der sächs. Ges. der Wiss. Math.-phys. Cl., Bd. 4, 1855, S. 107) ausgeführte Berechnung stimmt aber damit nicht überein, da nach derselben ungefähr die Quarte, die eine entschieden weniger vollkommene Consonanz als die Quinte ist, dem Verhältniss der Contrastfarben entsprechen würde (ebend. S. 119). Dabei hat sich DROBISCH außerdem genöthigt gesehen, um die Analogie zwischen Ton- und Farbenreihe überhaupt herstellen zu können, die Verhältnisszahlen der Lichtschwingungen auf eine gebrochene Potenz zu erheben.

jener subjectiven Verwandtschaft der rothen und violetten Farbe auf die Schwingungsverhältnisse des objectiven Lichtes eine gewisse Bedeutung zukommen dürfte. Von dem photochemischen Reizungsvorgang, den wir voraussetzen, müssen wir jedenfalls annehmen, dass er mit der Annäherung an die doppelte Schwingungszahl wieder derjenigen Beschaffenheit ähnlich wird, die er bei den längsten Lichtwellen besitzt. Bei der sonstigen durchgreifenden Verschiedenheit der Ton- und Farbenerregung lässt sich aber diese eine Analogie zu keinerlei weiteren Schlüssen benutzen.

Um so näher lag es daher, gerade auf jene Erscheinungen zurückzugreifen, in denen umgekehrt die Verschiedenheit der Klang- und Lichtempfindungen vorzugsweise zu Tage tritt: auf die Mischungserscheinungen. Dies geschah zuerst von THOMAS YOUNG, dessen Hypothese dann von HELMHOLTZ aufgenommen und weiter ausgebildet worden ist. Die YOUNG-HELMHOLTZ'sche Hypothese führt demnach alle Lichtempfindungen auf drei den Grundfarben entsprechende Grundempfindungen zurück. Dabei ist es für das Wesen der Hypothese gleichgültig, ob man diese drei Grundempfindungen mit YOUNG an die specifische Energie dreier Nervenfaserclassen oder mit HELMHOLTZ in den früheren Darstellungen seiner Theorie an verschiedene Elemente der Netzhaut, oder endlich an verschiedene Sehstoffe gebunden denkt, wie dies später von HELMHOLTZ und von andern Forschern, die sich ihm anschlossen, geschehen ist. Allen diesen Vorstellungen ist die Annahme gemein, dass aus nur drei specifisch verschiedenen physiologischen Processen die sämmtlichen Lichtempfindungen entstehen. Insofern man nun an der überall im Gebiet der Sinneslehre sich bestätigenden Voraussetzung festhält, dass den Differenzen der psychischen Elementarvorgänge Unterschiede der physischen Processe entsprechen müssen, begegnet eine solche Annahme von vornherein gewissen Bedenken. Die Empfindung Gelb ist keine Mischung von Roth und Grün, Weiß keine Mischung von Roth, Grün und Violett u. s. w. Indem die YOUNG'sche Hypothese die physikalischen Bedingungen, die zur Hervorbringung aller Lichtempfindungen genügen, unmittelbar in physiologische Bedingungen umsetzt, gibt sie demnach über die subjectiven Eigenschaften der Licht- und Farbenempfindungen, über die Eigenthümlichkeit der farblosen Erregung, endlich über die Verwandtschaft der Anfangs- und Endfarbe des Spektrums, gar keine Rechenschaft. Daraus dass objectives Roth, Grün und Violett zur Erzeugung aller Lichtqualitäten genügen, dürfen wir aber auch offenbar noch nicht folgern, dass nur drei physiologische Vorgänge bei allen Licht- und Farbenempfindungen existiren, sondern wir müssen, da die qualitativen Empfindungen sehr mannigfaltig sind, die durch jene drei objectiven Farben und ihre Mischungen hervorgebracht werden, im Gegentheil nach Anleitung

jenes Princips der durchgängigen Correspondenz von Empfindung und Netzhauterregung schließen, dass die physiologischen Effecte, die aus den quantitativen Mischungsverhältnissen der drei Grundfarben hervorgehen, qualitativ sehr verschiedener Art sein werden. Vielleicht würde man sich auch diesen Erwägungen nicht verschlossen haben, hätte nicht eine Zeit lang die Dreifarbentheorie in den Beobachtungen über Farbenblindheit eine scheinbare Stütze gefunden. In Wahrheit haben sich nun aber im weiteren Verlauf diese Beobachtungen durchaus nicht in dem Sinne beweiskräftig erwiesen, wie man anfänglich glaubte. Die totale Farbenblindheit, die ja normaler Weise auf den seitlichsten Theilen, und in einzelnen abnormen Fällen auf der ganzen Netzhaut oder auch an bestimmten centralen Theilen derselben vorkommt, ist nach der YOUNG'schen Hypothese völlig unverständlich; denn es lässt sich nur eine Anordnung der Nervenfasern, Netzhautelemente oder Sehstoffe denken, bei der die Beschaffenheit des objectiven Lichtes für die Empfindung gleichgültig wird: dies müsste dann geschehen, wenn nur eine Art von Elementen vorhanden wäre. Nun könnte man zwar nöthigenfalls behaupten, dass ein total Farbenblinder in Wahrheit alles entweder roth oder grün oder violett sehe; bei der excentrischen sowie bei der einseitigen und der circumscripten pathologischen Farbenblindheit, bei denen die Vergleichung mit den normalen Empfindungen möglich ist, lässt jedoch diese Ausflucht im Stich. Auch die Thatsache, dass bei der Roth- oder Grünblindheit ein zwischen Roth oder Grün gelegener Streifen des Spektrums farblos erscheint, und dass in diesen Fällen das weiße Licht weiß und nicht farbig gesehen wird, wie abermals die Fälle monocularer Farbenblindheit zeigen, ist mit der YOUNG'schen Hypothese unvereinbar, selbst wenn man ganz von allen jenen Erscheinungen der normalen Lichtempfindung, wie Adaptation, zeitlichem Verlauf der Erregung, Nachbildwirkung u. s. w. absieht, bei denen sich Helligkeitserregung und Farbenerregung deutlich als verschiedenartige Processe zu erkennen geben. Weiterhin beweisen nun aber auch die Erscheinungen der partiellen Farbenblindheit nicht das, wofür man sie einst als unverwerfliche Zeugnisse betrachtet hat. Vielmehr lehrt die unbefangene Prüfung dieser Erscheinungen, dass eine relative Unempfindlichkeit für einzelne Wellenlängen wahrscheinlich in jedem Theil des Spektrums vorkommen kann, und dass von den drei Grundfarben höchstens Roth und allenfalls noch Grün, keineswegs aber Violett vor den andern Farben sich auszeichnet. Dazu kommt, dass selbst bei den gewöhnlichen Roth- und Grünblinden beträchtliche Verschiedenheiten in der Ausdehnung und Lage der nicht empfundenen Strahlen vorkommen, wie die variable Beschaffenheit der sogenannten Farbengleichungen bei Farbenblinden einer und derselben Classe und

häufig auch die Lage der neutralen, d. h. relativ oder absolut farblosen Stelle im Spektrum beweist. Wenn immerhin, in diesem variabeln Sinne genommen, Roth- und Grünblindheit theils jede isolirt, theils beide vereinigt ein Uebergewicht erkennen lassen, so steht dies vielleicht damit in Zusammenhang, dass beide verhältnissmäßig breite Strecken im Dispersionsspektrum einnehmen. Ueberdies spielt bei dieser Bevorzugung offenbar die Neigung, an Stelle der Uebergangsfarben die Namen der nächstliegenden Hauptfarben zu wählen, eine täuschende Rolle. So ist es z. B. sehr zweifelhaft, ob die Grünblindheit wirklich die ihr zugeschriebene Bedeutung besäße, wenn man sich nicht gewöhnt hätte, Gelbgrün und Blaugrün ebenfalls Grün zu nennen[1].

Indem HERING dem Hauptmangel der Dreicomponententheorie, dass dieselbe das Zustandekommen der meisten von den Grundfarben verschiedenen Empfindungen überhaupt nicht erklärt, abzuhelfen suchte[2], stellte er eine Hypothese auf, die gleichzeitig den subjectiven Bedingungen der Empfindung und den Forderungen des Mischungsgesetzes gerecht werden soll. Diese Hypothese bringt zunächst die vier früher (S. 145) erwähnten Hauptfarben, Roth, Gelb, Grün und Blau, zur Geltung, indem sie annimmt, je zweien am Farbenkreis einander gegenüberliegenden, also einerseits dem Roth und Grün, anderseits dem Gelb und Blau, und außerdem dem Schwarz und Weiß, die ähnliche qualitative Gegensätze seien, entspreche ein specifischer Sehstoff. In jedem dieser Sehstoffe sollen dann zwei entgegengesetzte Processe vorkommen, dem Weiß und Schwarz, Roth und Grün, Gelb und Blau entsprechend, wobei unter den Farben Roth und Gelb als Analoga des Weiß oder als dissimilirende Sehprocesse, Grün und Blau als Analoga des Schwarz oder als assimilirende Sehprocesse betrachtet werden. Entgegengesetzte farbige Sehprocesse sollen aber sich aufheben, so dass allein die farblose Erregung, die alle andern Processe begleitet, bestehen bleibt; Weiß und Schwarz sollen dagegen eine mittlere Empfindung, das Grau, hervorbringen[3]. Indem in dieser Weise die Hypothese HERINGS, deren Anwendung auf die Nachbilder und Contrasterscheinungen sich leicht übersehen lässt, die aus verschiedenen Bedürfnissen

---

[1] Vgl. hierzu meine näheren Ausführungen Philos. Stud. Bd. 4, 1888, S. 328 ff.

[2] Ich darf wohl bemerken, dass dieser Mangel schon vor dem Erscheinen der HERINGschen Arbeiten in der ersten Auflage dieses Werkes (S. 388) hervorgehoben wurde. Zugleich habe ich damals schon, von der Voraussetzung ausgehend, dass gleichen Empfindungen gleiche und verschiedenen verschiedene Nervenprocesse zu Grunde liegen, den Versuch gemacht, eine Theorie der Lichtempfindungen zu entwickeln, die von der unten vorgetragenen nur in dem einen Punkte abweicht, dass in jener die farblose Erregung noch als die Resultante einander entgegenwirkender Processe betrachtet wurde.

[3] HERING, Zur Lehre vom Lichtsinn, 4. und 5. Mittheilung. Ueber spätere Zusätze zu dieser Theorie vgl. Wiener Sitzungsber., 3, Bd. 98, 1889.

hervorgegangenen Begriffe der Hauptfarben und der Grundfarben einander gleichsetzt, geräth sie zunächst in Conflict mit den Thatsachen des Mischungsgesetzes. Nicht Roth und Grün, sondern Purpur und Grün sind einander complementär; niemals lassen sich aus den vier Hauptfarben alle Farbenempfindungen herstellen, sondern das spektrale Violett ist auf diesem Wege nicht hervorzubringen; anderseits lässt sich das spektrale Gelb annähernd aus Roth und Grün erzeugen. Jede Rothblindheit müsste ferner zugleich Grünblindheit, jede Blau- zugleich Gelbblindheit sein, während doch in Wirklichkeit namentlich die beiden ersteren getrennt von einander vorkommen können. Darin jedoch wird man dieser Theorie recht geben müssen, dass aus der Mischung irgend welcher Farbenempfindungen niemals die Empfindung des Farblosen abgeleitet werden kann, und dass also diese von physiologischen Processen eigenthümlicher Art begleitet sein muss, wie dies ja auch weiterhin nicht bloß durch das Vorkommen der totalen Farbenblindheit, sondern auch durch eine ganze Reihe von Erscheinungen des normalen Sehens (An- und Absteigen der Erregung, Nachbilder) bestätigt wird, in denen sich der Process der Farbenerregung als ein von dem der Helligkeitserregung specifisch verschiedener erweist. Gerade gegen diese specifische Verschiedenheit verstößt nun aber die Vierfarbentheorie wiederum, indem sie in willkürlicher Weise gewisse Farben, nämlich Roth und Gelb, dem Weiß, Grün und Blau dem Schwarz analog setzt und die in der Empfindung toto genere verschiedenen Processe der Aufhebung zweier Complementärfarben zu Weiß und der Verbindung von Weiß und Schwarz zu einem zwischen ihnen liegenden Grau auf analoge Gegensätze der Netzhauterregungen bezieht. Denn dadurch setzt sich diese Theorie in Widerspruch zu dem zuvor von ihr selbst anerkannten Grundsatz, dass Empfindung und Netzhauterregung einander entsprechen müssen. Nicht minder beruht dann die in dem Begriff der »specifischen Helligkeit« eingeführte Annahme eines jeder Farbe unabhängig von der reinen Helligkeitserregung zukommenden besonderen Vorgangs auf einer den Thatsachen widerstreitenden Wiedervereinigung der beiden anfänglich vollkommen zutreffend geschiedenen Arten der Lichtempfindung.

Indem dann weiterhin die Theorie bemüht ist, jeder der von ihr angenommenen Licht- und Farbencomponenten einen absoluten, sowohl in den Wirkungen, welche die einzelne Lichtqualität in ihren Mischungen ausübt, wie in ihrer eigenen subjectiven Beschaffenheit constant bleibenden Werth zuzuschreiben, tritt bei ihr ein weiterer Widerspruch zu Tage, der bei der Dreicomponententheorie vermieden war, weil diese, nur darauf bedacht das Mischungsgesetz zu interpretiren, überhaupt auf den Anspruch verzichtet hatte, Empfindung und Netzhauterregung in klar erkennbare

Beziehungen zu bringen. Bei HERINGs Theorie ist das anders. Hier macht der absolute Werth, der den vier Hauptfarben eingeräumt wird, Ansprüche geltend, die zu neuen, jenen Werth zu deutlichem Ausdruck bringenden Begriffsbildungen nöthigen. Ein solcher Begriff ist der von HERING eingeführte der Werthigkeit oder Valenz. Indem dieser sichtlich dem Valenzbegriff der Chemie nachgebildet ist, will er sagen, dass jeder Hauptfarbe in ihrer eigenen Empfindungsqualität wie in ihrem Verhältniss zu andern Farben ein specifischer Empfindungswerth zukomme, analog wie die chemische Valenz einen bestimmten, jedem Element eigenthümlichen Affinitätswerth repräsentirt. So ist der Kohlenstoff ein vierwerthiges Element, weil er in allen seinen Verbindungen vier Affinitätseinheiten sättigt; und der Begriff der chemischen Valenz hat nur insofern eine Bedeutung, als die Valenz selbst, abgesehen von einigen wenigen, auf ausnahmsweise Bedingungen zurückführenden Fällen, eine durchaus constante Größe ist. Dieser Valenzbegriff würde inhaltsleer werden, wenn der Affinitätswerth eines Elementes, in den gleichen Einheiten gemessen, von einer Verbindung zur andern wechselte. Nun zeigt sich aber, dass die Farbenvalenz gerade diese Eigenschaft der fortwährenden Variabilität besitzt, in welcher der für sie möglichen Bedeutungen man sie auch anwenden mag. Fasst man sie als Empfindungsvalenz, so würde darunter die relative Intensität zu verstehen sein, in der sich eine bestimmte Farbe gegenüber andern in der unmittelbaren subjectiven Empfindung geltend macht. Diese Empfindungsvalenz ist aber, wie das PURKINJE'sche Phänomen lehrt, mit Lichtstärke und Adaptation fortwährend veränderlich: mit fortschreitender Dunkeladaptation wandert das Maximum der Valenz continuirlich von den langwelligen zu den kurzwelligen Farben. Fasst man dann zweitens die Valenz als Mischungsvalenz, so ist sie als solche zunächst von der Empfindungsvalenz völlig verschieden, indem jetzt die bei den gewöhnlichen Verhältnissen der Sättigungen und Helligkeiten im Spektrnm mit der größten Empfindungsvalenz ausgestatteten langwelligen Farben die kleinste Mischungsvalenz, die mit der kleinsten Empfindungsvalenz begabten kurzwelligen Strahlen aber umgekehrt die größte Mischungsvalenz besitzen. Auch dieses Verhältniss ändert sich aber, sobald die Helligkeitsvertheilung der Farben eine andere wird als im Spektrum, und mit der Annäherung an gleiche Helligkeit scheinen sich alle Valenzdifferenzen auszugleichen. Wollte man endlich noch eine Nachbildvalenz unterscheiden, so würde sich diese wahrscheinlich wiederum von den beiden vorigen unterscheiden, und sie würde mit den Bedingungen, welche die Nachbildwirkung verändern, abermals veränderlich sein. In jeder der Richtungen, in denen man den Begriff der Farbenvalenz anwenden möchte, lässt er sich also nicht festhalten, weil ihm

gerade das Merkmal nicht zukommt, das dem Begriff der Valenz in der Chemie allein seine Berechtigung verleiht, nämlich das der Constanz in dem einmal festgestellten Sinne. Dadurch wird allerdings die Anwendung der Ausdrücke »Helligkeits-« und »Farbenvalenz« für einen einzelnen Fall oder für eine Gruppe übereinstimmender Fälle, z. B. von Farbenmischung, nicht unbedingt ausgeschlossen. Man wird aber dabei stets dessen eingedenk bleiben müssen, dass diese optische Valenz, im Gegensatze zu ihrem chemischen Vorbild, eine durchaus variable, von dem Zustande des Sehorgans und von den sonstigen Bedingungen des Erregungsvorgangs abhängige Größe ist.

Das entscheidende Motiv für den Vorzug, dessen sich die Vierfarbentheorie vor der Dreicomponententheorie zu erfreuen hatte, lag jedoch weniger in diesen zum Theil nicht einmal nothwendig mit ihr verbundenen Voraussetzungen, als vielmehr in einer Eigenschaft, die sie der populären psychologischen Auffassung besonders empfehlenswerth erscheinen ließ: darin nämlich, dass sie jenen vier Hauptfarben, die schon die Sprache durch das Alter ihrer Namen vor allen andern auszeichnet, Roth, Gelb, Grün und Blau, auch in der Empfindung eine entsprechende Stellung zuzuweisen scheint. Gerade diese Stütze ist nun aber, im Lichte psychologischer Analyse betrachtet, die schwächste. Die Vorstellung, dass der Mensch seine Empfindungen nach dem subjectiven Werth benannt habe, den sie in seinem Bewusstsein besitzen, ist psychologisch unvollziehbar, weil ursprünglich überhaupt nicht Empfindungen, sondern Gegenstände benannt werden. Diese Namen der Gegenstände sind dann nachträglich erst auf die entsprechenden Empfindungen hinübergewandert, wie wir das bei den Farbennamen neueren Ursprungs, Orange, Violett, Indigoblau u. dergl., noch deutlich beobachten können. Demnach werden wir annehmen dürfen, dass es sich auch bei jenen alten Farbennamen, über deren Ursprung nur zweifelhafte etymologische Vermuthungen existiren, nicht anders verhalte, um so mehr, da gerade der primitive Mensch seine Empfindungen ganz und gar in den Objecten aufgehen lässt[1]. Nun gibt es, abgesehen vom Weiß und Schwarz, zwei Lichtqualitäten, die in der Natur vor allen andern eine bevorzugte Rolle spielen: das Blau des Himmels und das Grün der Vegetation. Neben ihnen nimmt noch das Roth des Blutes einen vielleicht mehr durch seinen intensiven

[1] Für den Zustand der etymologischen Forschung im Gebiet der primitiven Farbennamen ist es charakteristisch, dass sich O. WEISE (BEZZENBERGERS Beiträge zur Kunde der indogermanischen Sprachen, Bd. 2, 1878, S. 273 ff.) auf die physiologischen Farbentheorien beruft, um die Annahme zu begründen, Roth sei die Urfarbe. G. E. MÜLLER beruft sich dann wiederum zu Gunsten der HERING'schen Theorie auf WEISES etymologische Forschungen (Zeitschrift für Psychologie, Bd. 10, 1896, S. 74). Ueber den Ursprung der Farbennamen überhaupt vgl. Völkerpsychologie, Bd. 1, II, S. 512 ff.

Gefühlswerth als durch extensive Verbreitung ausgezeichneten Rang ein. Jener Gefühlswerth selbst, den für uns heute noch der Anblick der Farbe hervorruft, mag theils in der unmittelbaren Empfindung theils in der Nachwirkung von Affecten, die mit dem Anblick des Blutes in Beziehung stehen, seinen Grund haben. Auch das Gelb gehört, als Farbe der herbstlichen Vegetation, des Wüsten- und Dünensandes u. s. w., zu den verbreitetsten Färbungen in der Natur. Vor allem aber erscheint es uns durch seinen Contrast zum Blau des Himmels als die Farbe der Gestirne, und dieser Contrast hat wahrscheinlich erst dem reinen Gelb seine Stellung in der Farbenreihe gegeben. Der Vorzug, den wir den Farben Roth, Gelb, Grün und Blau in dem System unserer Lichtempfindungen anweisen, wird durch diese Thatsachen vollkommen begreiflich. Sobald sich aber einmal diese vier den Werth von Hauptfarben errungen hatten, musste den übrigen vermöge der stetigen und in sich geschlossenen Beschaffenheit des Farbensystems von selbst die Rolle von Zwischenfarben zufallen, wobei jede Zwischenfarbe, da sie nach beiden Richtungen in Farbentöne, die ihr ähnlich sind, übergeht, zugleich als Mischfarbe gedeutet werden kann.

i. Grundzüge der Stufentheorie.

In der Verwandtschaft der Anfangs- und Endfarbe des Spektrums, und in der Aufhebung je zweier Wellenlängen von hinreichender Verschiedenheit zu Weiß treten uns zwei Erscheinungen entgegen, die eien der subjectiven Empfindung, die andere den Mischungsphänomenen angehörig, die auf eine zwischen ihnen bestehende Beziehung hinzuweisen scheinen. Insofern nämlich aus der subjectiven Verwandtschaft von Roth und Violett auf die Aehnlichkeit der entsprechenden Erregungsvorgänge zu schließen ist, wird man erwarten dürfen, dass diejenigen Wellenlängen, die sich als farbige Erregungen compensiren, auch in der nach der subjectiven Verwandtschaft entworfenen geschlossenen Farbenlinie einer maximalen Entfernung der Empfindungen entsprechen werden. Nimmt man hierzu die weitere Thatsache, dass verschiedene Wellenlängen von geringerer Schwingungsdifferenz zusammen eine Lichterregung von gleicher Qualität wie die zwischen ihnen liegende einfache hervorbringen, so ergibt sich hieraus ohne weiteres das Mischungsgesetz. Dass dasselbe geometrisch durch ein Dreieck dargestellt werden kann, ist unter diesem Gesichtspunkt lediglich eine Folge davon, dass das Dreieck die einfachste einen Raum umschließende ebene Figur ist. Dass sich aber Roth, Grün und Violett besser als andere Farben zur Construction dieses Dreiecks eignen, beruht nicht sowohl auf einem specifischen Vorzug derselben, als

eben darauf, dass Roth und Violett die Anfangs- und die Endfarbe des Spektrums sind.

Alle diese Thatsachen nöthigen demnach nicht im geringsten, in ähnlichem Sinne eine fest bestimmte, auf drei, zwei oder vier beschränkte Anzahl farbiger Erregungsprocesse anzunehmen, wie die farblose Lichtreizung allerdings als eine von der chromatischen verschiedene anzuerkennen ist. Insbesondere ist das Mischungsgesetz vollständig mit der jedenfalls nächstliegenden Annahme vereinbar, dass die chromatische Reizung eine in sehr kleinen, für uns nicht näher nachzuweisenden Abstufungen veränderliche Function der Wellenlänge des objectiven Lichtes sei, und dass sie stets zu einer das Substrat jeder Lichtreizung bildenden achromatischen Erregung hinzutrete. Die Adaptation, der Verlauf der Netzhauterregungen, die Nachbilder weisen sämmtlich auf eine Scheidung der reinen Helligkeits- und der Farbenerregung hin, während diese letztere wiederum eine in sich zusammenhängende Reihe von Farbeprocessen zu sein scheint. Auch die Beobachtungen an Farbenblinden fügen sich dieser Vorstellung, wogegen sie aus der Annahme von drei oder vier Grundempfindungen thatsächlich nicht erklärt werden können und nur dadurch scheinbar erklärt zu werden pflegen, dass man gewisse Hauptformen allein berücksichtigt und die übrigen vernachlässigt, oder auf nebenhergehende Modificationen der normalen Empfindlichkeit (sog. unvollkommene Trichromasie) zurückführt. Ebenso wenig lässt sich aus der Unterscheidung der vier Hauptfarben ein Argument für die Existenz specifisch verschiedener Erregungen entnehmen. Gehen wir davon aus, dass Hauptfarben diejenigen Farbenpaare sind, deren subjective Verschiedenheit ein Maximum ist, so wird die relative Lage derselben abermals durch die Verwandtschaft der beiden Endfarben des Spektrums bestimmt, während ihre absolute Lage ursprünglich auf gewisse Naturanschauungen und die an diese sich anlehnenden Bezeichnungen zurückgeht. Nach ihrem absoluten Empfindungswerth ist jede Farbe einfach. Eine Farbe, die zwischen je zwei andern, nicht allzu entfernten liegt, erscheint aber beiden in gewissem Grade verwandt, und wir fassen sie daher in diesem Sinne als eine Zwischenfarbe auf. Hätten wir uns aus irgend welchen Gründen daran gewöhnt, Purpur und Orange als Hauptfarben anzusehen, so würde wahrscheinlich niemand sich bedenken dem Roth die Rolle einer Zwischenfarbe zwischen beiden zuzuschreiben. Die Maler, die aus blauen und gelben Pigmenten das Grün mischen, sind geneigt letzteres als eine Zwischenfarbe zu betrachten, während die Physiologen es eine Hauptfarbe nennen[1]. Der Begriff

[1] Für den suggestiven Einfluss, den die Farbennamen auf die Stellung ausüben, die wir den einzelnen Empfindungen anweisen, scheint es mir bezeichnend, dass wir ohne

der Hauptfarbe hat also nur in dem Sinne eine Bedeutung, dass er gewisse relative Unterschiedsmaxima innerhalb der in sich geschlossenen Farbencurve andeutet. Mit den complementären Farben fallen diese zwar nahezu, aber nicht vollständig zusammen; und zwar scheinen die Complementärfarben überall etwas weiter als die einander entgegengesetzten Hauptfarben von einander entfernt zu sein. Wahrscheinlich wird diese Abweichung eben durch jenen Einfluss bestimmter Naturobjecte veranlasst, der die Wahl der Hauptfarben bestimmt hat. Denn es ist nicht zu übersehen, dass das subjective Maß der Unterschiede unserer Lichtempfindung ein sehr unsicheres ist. Schwerlich möchte z. B. jemand im stande sein zu entscheiden, ob Purpur und Grün subjectiv verschiedener als spektrales Roth und Grün seien. Um so weniger sind wir daher berechtigt, die bei der Farbenmischung in Bezug auf die compensirende Wirkung der Farben erhaltenen Resultate durch die conventionellen vier Hauptfarben zu berichtigen.

Sucht man allen diesen Momenten im Zusammenhange Rechnung zu tragen, so ergibt sich eine Auffassung, die wir im Gegensatze zu den beiden vorhin erörterten Componententheorien als Stufentheorie bezeichnen können. Die Grundzüge derselben lassen sich in folgenden Sätzen festhalten: 1) Wie in der nervösen Substanz überhaupt, so ist auch in den Sehelementen jede Erregung von einem Hemmungsvorgang begleitet: das psychische Aequivalent dieses Hemmungsvorganges ist die Empfindung Schwarz, die sich theils mit den Lichtreizen verbindet und dann den qualitativen Eindruck des größeren oder geringeren Dunkels bestimmt, theils bei dem Wegfall anderer Reize allein zurückbleibt. 2) Durch jede äußere Netzhautreizung werden zwei Erregungsvorgänge ausgelöst: ein achromatischer und ein chromatischer. Die chromatische Reizung ist eine Function der Wellenlänge und der Amplitude der Schwingungen; mit der Wellenlänge ändert sich der Farbenton, mit der Amplitude der Farbengrad oder die Sättigung. Die

---

Schwierigkeit Orange, Purpur, auch Indigo, Violett, wenn wir sie in reiner spektraler Sättigung für sich allein betrachten, als einfache Empfindungen anerkennen, dass wir aber Gelbgrün und Grünblau, für die uns einfache Farbennamen, wie Orange u. s. w., nicht zu Gebote stehen, eher geneigt sind für Verbindungen derjenigen Farben zu halten, aus deren Namen ihre Bezeichnungen zusammengesetzt sind. Ebenso erkennt jedermann leicht an, dass sich zwischen Purpur und Orange, wenn man sie als Hauptfarben statuirt, das reine Roth genau in derselben Weise als Uebergangsfarbe einreiht, wie zwischen Roth und Gelb das Orange. Bei den Farben dies- und jenseits des Grün wird es auch hier den meisten etwas schwerer, sie sich als »Urfarben« vorzustellen. Schließlich überzeugt man sich aber doch, dass das Verhältniss der Empfindungen in diesem Fall kein anderes ist. Auch trifft man nicht bloß Maler an, die in einem reinen Grün das Blau und das Gelb zu erkennen glauben, sondern selbst so aufmerksame und geübte Beobachter wie GOETHE und BREWSTER sind dieser Täuschung verfallen. Hier übt eben die Gewohnheit der Pigmentmischung jene suggestive Wirkung aus, die sonst den Farbennamen zukommt.

achromatische Reizung ist hauptsächlich von der Amplitude der Schwingungen, in geringerem Maße aber ebenfalls von der Wellenlänge abhängig, indem sie, auf gleiche objective Energiewerthe bezogen, zuerst von Roth bis Grün zu- und dann gegen das Ende des Spektrums abnimmt. 3) Bei einer und derselben Wellenlänge folgen beide Erregungen, die achromatische und die chromatische, bei wachsender Lichtstärke verschiedenen Gesetzen, indem die achromatische schon bei schwächeren Reizen beginnt und zunächst die chromatische an Intensität übertrifft. Bei mittleren Reizen nimmt sodann die relative Stärke der chromatischen Erregung zu, um bei den intensivsten abermals der achromatischen das Uebergewicht zu lassen. 4) Die chromatische Erregung besteht in einem multiformen photochemischen Vorgang, der mit der Wellenlänge stufenweise veränderlich ist, indem er eine annähernd periodische Function derselben darstellt, deren äußerste Unterschiede einander ähnliche Wirkungen hervorbringen, während die Wirkungen gewisser zwischenliegender Wellenlängen in der Weise entgegengesetzt sind, dass sie sich, analog wie entgegengesetzte Phasen einer Schwingungsbewegung, vollständig compensiren können. Die achromatische Erregung besteht in einem uniformen photochemischen Vorgang, der sich bei wechselnder Wellenlänge in seiner Intensität, nicht aber in seiner sonstigen Beschaffenheit ändert, und der in seinen Abstufungen überall den Veränderungen der Lichtstärke parallel geht. 5) Jeder photochemische Erregungsvorgang überdauert eine gewisse Zeit die Reizung und erschöpft die Erregbarkeit der Sinnessubstanz für den stattgefundenen Reiz. Aus der unmittelbaren Nachwirkung der Reizung erklärt sich das positive und gleichfarbige, aus der Erschöpfung das negative und complementäre Nachbild. Die Helligkeits- und die Farbencomponente des Nachbildes zeigen aber einen verschiedenen Verlauf, worin sich beide wiederum als abweichende Vorgänge zu erkennen geben. 6) Bei kurzdauernder Lichtreizung bieten ferner diese Processe, gemäß den allgemeinen Gesetzen der Nervenerregung, einen oscillirenden Verlauf, indem der die Erholung begleitende Vorgang eine neue der ursprünglichen gleiche Erregung erzeugt, die dann abermals Erschöpfung hervorruft, u. s. w. Aus diesem periodischen Wechsel erklärt sich das oscillatorische Abklingen der Nachbilder. 7) Die Geschwindigkeit, mit der die achromatische und die chromatische Erregung nach einem kurz dauernden Reize ansteigen, ist für beide eine derart verschiedene, dass die chromatische ungefähr die doppelte Zeit braucht, um ihr Maximum zu erreichen, als die achromatische. Zugleich ist aber die erstere für die verschiedenen Wellenlängen eine übereinstimmende, eine Thatsache, in der sich in ganz besonderem Maße der einheitliche Charakter der Farbenprocesse zu erkennen gibt. Ebenso ist die Geschwindigkeit,

mit der die Erregung sinkt, wiederum für die achromatische und die chromatische Erregung und dann in geringerem Maße für die letztere je nach der Wellenlänge eine verschiedene, indem die Farbenerregung überhaupt länger andauert, außerdem aber bei den brechbareren Strahlen etwas dauernder ist als bei den minder brechbaren. Hieraus erklärt sich der abweichende Verlauf der Nachbilder und der unter gewissen Bedingungen zu beobachtende Farbenwechsel beim Abklingen derselben. 8) Der Verlauf der sämmtlichen Erregungsvorgänge ist in der Weise von dem Belichtungszustand der Netzhaut, der »Adaptation«, abhängig, dass in Folge der Dunkeladaptation die achromatische Erregbarkeit absolut gesteigert, die chromatische aber in dem Sinne relativ verändert wird, dass ihr Maximum allmählich von den langwelligen auf die kurzwelligen Strahlen übergeht.

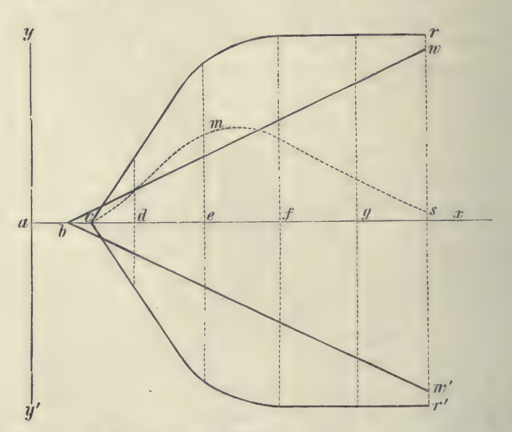


Fig. 211. Graphische Darstellung der Abhängigkeit der Netzhauterregungen von der Amplitude der Lichtschwingungen.

Die in Fig. 211 gegebene graphische Darstellung beschränkt sich darauf, die allgemeine Abhängigkeit der beiden vorausgesetzten Erregungsvorgänge von der Schwingungsamplitude zu erläutern. Die wachsenden Größen der letzteren bei irgend einer monochromatischen Reizung werden durch die auf ax abgemessenen Abscissen versinnlicht. Wir nehmen der Einfachheit wegen an, die achromatische Erregung wachse von der Reizschwelle b an proportional der Lichtstärke, sie werde also durch die Gerade bw dargestellt. Dann liegt, da die schwächsten Reize nur farblose Erregung verursachen, die Schwelle der chromatischen Reizung bei einer

etwas größeren Lichtstärke *c*. Von da an wird das weitere Wachsthum der chromatischen Reizung durch die Curve *cr* dargestellt, die anfangs sehr schnell ansteigt, dann aber bald einem Maximum zustrebt, von dem an sie, bei fortan wachsender achromatischer Reizung, etwa der Abscissenlinie parallel bleibt. Die Abhängigkeit der Sättigung von der Reizstärke findet demzufolge in der unterbrochen gezeichneten Curve *cms* ihren Ausdruck, die von Null ansteigt, bei *m* ihren Höhepunkt erreicht, von wo an sie wieder sinkt, um bei den größten Lichtstärken abermals dem Werthe Null nahezukommen. Denkt man sich nun weiterhin die Abscissenlinie *ax* als die Achse eines Polarcoordinatensystems im Raume, indem man sich die Ebene *ayx* um *ax* als Achse gedreht denkt, und lässt man die Drehungswinkel mit den Wellenlängen des monochromatischen Lichtes zunehmen, so erhält man zwei Scharen von Curven *bw* und *cr*, die nach der Drehung um 360° zwei Kegeloberflächen bilden würden, deren verticale Durchschnitte das Dreieck *bww'* und das Curvenpaar *crr'* darstellen. Auf einem zur Achse *ax* senkrechten Querdurchschnitt wird der zu *bww'* gehörige Kegel nur gleichförmig farbloses Licht, bei *ww'* das hellste, bei *b* das dunkelste Weiß enthalten, der Gleichförmigkeit der achromatischen Reizung bei verschiedenen Wellenlängen entsprechend; der Kegel *crr'* dagegen wird auf seinem Querdurchschnitt ein Farbenkreis sein, in welchem die Farben in der in Fig. 211 dargestellten Reihenfolge und in solchem Abstande auf einander folgen, dass complementäre Farben einen Winkel von 180° mit einander bilden. Angenommen z. B., *bw* und *cr* bezeichneten die beiden Componenten der Reizung durch rothes Licht, so würden *bw'* und *cr'* die entsprechenden Componenten für Grünblau bedeuten. Wirken beide in gleicher Stärke, so werden nun *bw* und *bw'* als gleichartige Componenten sich addiren, *cr* und *cr'* aber als entgegengesetzte sich aufheben, also bloß eine farblose Erregung zurücklassen. Selbstverständlich muss übrigens auch hier wieder das Intervall zwischen Roth und Violett durch die Mischung dieser Endfarben ausgefüllt werden, wenn man die volle Periode von 360° erhalten will[1].

Unter den oben besprochenen Theorien der Licht- und Farbenempfindung ist die von THOMAS YOUNG begründete, von HELMHOLTZ weiter ausgebildete Dreicomponententheorie lediglich ein Ausdruck des Mischungsgesetzes; alle sonstigen Bedingungen bleiben bei ihr außer Betracht. Auch das Mischungsgesetz wird aber durch sie nicht erklärt; denn warum aus den drei Grundfarben alle Lichtempfindungen, z. B. Weiß, zusammengesetzt werden können, wird durch die Annahme von drei Fasergattungen oder Sehstoffen nicht begreiflich gemacht. Die neueren physiologisch-optischen Arbeiten, in

[1] Vgl. zu dem Vorangegangenen meine Abhandlung: Die Empfindung des Lichts und der Farben, Philos. Stud. Bd. 4, 1888, S. 311 ff.

denen das System der drei Grundempfindungen beibehalten wurde, beschränken sich daher meist auf die physikalische Seite der Frage, wo dann freilich der Nachweis genügt, dass die drei Grundfarben als objective Lichtreize alle möglichen subjectiven Lichtempfindungen hervorbringen können[1]. Dem Princip des Parallelismus der physiologischen Sinneserregungen und der Empfindungen wird zwar hier nicht ausdrücklich widersprochen, aber dasselbe wird doch stillschweigend ignorirt. Ich habe schon in der ersten Auflage des vorliegenden Werkes betont, dass dieses Princip zum Ausgangspunkt aller theoretischen Erörterungen dienen müsse, und, nachdem ein Jahr später HERING das nämliche Princip zur Grundlage seiner Theorie gemacht, ist es allmählich auch von solchen Forschern, die im übrigen an der YOUNG-HELMHOLTZ'schen Hypothese festhielten, insofern acceptirt worden, als sie sich geneigt erklärten, das Weiß als eine specielle Grundempfindung anzusehen, die stets die farbige Reizung begleite: so besonders DONDERS[2] und VON KRIES[3]. Im Anschlusse hieran sind sogar Versuche gemacht worden, verschiedene physiologische Substrate für die achromatische und die chromatische Reizung aufzufinden, sei es in der Retina selber, sei es dass man nur den Ort der chromatischen Reizung in die Retina verlegte, die bloße Lichtunterscheidung aber als einen centralen Vorgang postulirte[4]. Diese Versuche haben jedoch in Bezug auf die Retina zu keinem Resultate geführt[5], und bezüglich der centralen Vorgänge bleibt die Auffassung die wahrscheinlichste, dass zwar die psychophysischen Grundlagen des Actes der Unterscheidung von Licht und Farben centraler Natur, dass aber die zu unterscheidenden Erregungen selbst in der Retina vorgebildet sind.

Eine mit der Dreicomponententheorie in ihrer ursprünglichen Gestalt schwer vereinbare Thatsache ist ferner die Abhängigkeit der Sättigung einer Farbe von der Lichtintensität. So werden denn auch in den GRASSMANN-schen Sätzen über Farbenmischung, an die HELMHOLTZ seine Theorie anlehnte, im Widerstreit mit der Erfahrung Farbenton, Sättigung und Lichtintensität als von einander unabhängige Variable betrachtet. Jene Beziehung zwischen Sättigung und Lichtstärke scheint aber zugleich darauf hinzuweisen, dass die farblose Erregung als eine selbständige, in der Retina vorhandene Componente jeder chromatischen Reizung angesehen werden muss. Dem sucht nun die modificirte Dreicomponententheorie (in der von DONDERS und VON KRIES angenommenen Form) Rechnung zu tragen, indem sie einräumt, das Weiß sei

---

[1] Vgl. KÖNIG und DIETERICI, Die Grundempfindungen und ihre Intensitätsvertheilung im Spektrum. Sitzungsber. der Berliner Akademie, 29. Juli 1886.

[2] DONDERS, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 27, 1, 1881, S. 135. Bd. 30, 1, 1884, S. 15.

[3] VON KRIES, Die Gesichtsempfindungen und ihre Analyse. 1882, S. 159. Nicht alle Anhänger der Dreifarbentheorie haben sich freilich zu diesen Zugeständnissen entschlossen. HELMHOLTZ bezeichnet noch in der 2. Aufl. seiner Physiolog. Optik (S. 359) die totale Farbenblindheit als »Monochromasie«; er ist der Ansicht, dass bei diesem Zustand alle Objecte farbig, wenn auch nur in einer Farbe, gesehen werden, eine Annahme, die den wohl untersuchten Fällen circumscripter und monocularer totaler Farbenblindheit gegenüber absolut unhaltbar ist.

[4] VON KRIES, a. a. O. S. 164. DONDERS ist geneigt, auch die Bedeutung der vier Hauptfarben Roth, Gelb, Grün und Blau auf unbekannte centrale Bedingungen zurückzuführen (a. a. O. Bd. 27, S. 173).

[5] Vgl. SCHNELLER, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 28, 3, 1882, S. 73, und oben Bd. 1, S. 431 ff.

aus keiner Mischung von Farben abzuleiten. Dieses Zugeständniss erklärt aber allenfalls die Abhängigkeit der Sättigung von der Lichtstärke, es erklärt jedoch nicht, wie sich alle oder je zwei Farben zu Weiß aufheben. Dazu bedarf es vielmehr der weiteren Voraussetzung eines antagonistischen Verhaltens. So lange man nun auf dem Boden der Componententheorien verbleibt, kann ein solches nur auf einen Gegensatz der Componenten selbst bezogen werden, und dazu bedarf man mindestens zweier antagonistischer Componentenpaare. So führt das Streben, dieser Forderung gerecht zu werden, von selbst zu der Viercomponententheorie HERINGS. Soll dieselbe dem Zweck, aus dem sie zunächst hervorgegangen, genügen, so müssen aber je zwei der Componenten, die sie voraussetzt, zu einander complementär sein. Dem wird freilich in HERINGS Theorie nur gewaltsam Genüge geleistet. Da in Wirklichkeit Roth und Grün, Gelb und reines Blau nicht complementär sind, so sieht sie sich genöthigt, das Roth nach der Richtung des Purpur, das Grün nach der des Grünblau, das Blau nach der des Indigblau zu verschieben. Die vier Hauptfarben Roth, Gelb, Grün und Blau sind also nur dann gleichzeitig als Grundfarben zu verwerthen, wenn man den Namen Roth, Gelb, Grün und Blau eine etwas andere Bedeutung beilegt, als sie gewöhnlich besitzen, und wenn man dem reinen Roth im physiologischen Sinne physikalisch die Bedeutung einer Mischfarbe (aus spektralem Roth und etwas Violett) gibt. Um die Analogie zwischen den farbigen und farblosen Sehstoffen zu vervollständigen, hat dann weiterhin HERING eine wesentliche Modification seiner ursprünglichen Theorie vorgenommen. Nachdem er nämlich früher sowohl die verschiedene Helligkeit der Farben wie die bei Aenderungen der Lichtstärke eintretenden Helligkeitsänderungen auf die gleichzeitig stattfindende farblose Erregung zurückgeführt hatte, nimmt er jetzt an, dass jeder Lichtqualität eine specifische Helligkeit zukomme, wobei Weiß, Gelb, Roth, Grün, Blau und Schwarz eine absteigende Reihe bilden[1]. Die bei irgend einem Eindruck empfundene Helligkeit soll demnach von dem Helligkeitswerth der sämmtlichen in den Eindruck eingehenden Lichtqualitäten abhängen. Auf diese Weise erscheinen nunmehr farblose und farbige Lichtarten einander vollständig gleichartig, abgesehen freilich von der oben berührten Verschiedenheit des Mischungseffectes von Schwarz und Weiß gegenüber dem Mischungseffect der Complementärfarben. Aus dieser Annahme würde aber wiederum folgen, dass bei Farbenblindheit die Helligkeitsvertheilung im Spektrum stets von der des normalen Auges abweichen und genau dem Ausfall derjenigen Helligkeit, die der nicht empfundenen Farbe zukommt, entsprechen müsste. Dieser Folgerung widerstreiten jedoch zahlreiche Beobachtungen an total Farbenblinden, wo die Helligkeitsvertheilung im Spektrum vollständig die normale geblieben ist, und wo, falls monoculare oder circumscripte Farbenblindheit besteht, die Helligkeit farbiger Objecte auf farbenblinden und farbentüchtigen Stellen vollkommen gleich geschätzt wird[2]. Nicht weniger bilden viele Fälle partieller Farbenblindheit ein unübersteigliches Hinderniss für diese Theorie.

---

[1] HERING, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 35, 4, 1889, S. 63 ff. PFLÜGERS Archiv, Bd. 47, 1890, S. 417 ff. Bd. 49, 1891, S. 463 ff.

[2] Vgl. A. KÖNIG, Ueber den Helligkeitswerth der Spektralfarben, S. 70 ff. Dass die bei Mischungsversuchen gewonnenen Ergebnisse, die für die unabhängigen Helligkeitsvalenzen der einzelnen Farben beigebracht wurden, auch in andern Beobachtungen nicht bestätigt werden konnten, ist schon oben (S. 187 f.) bemerkt worden.

Insbesondere fallen hier jene Fälle monocularer partieller Farbenblindheit ins Gewicht, bei denen mit Sicherheit nachgewiesen werden kann, dass der Ausfall entweder überhaupt nur eine Farbe, oder doch jedenfalls nicht die Glieder eines HERING'schen Urfarbenpaares oder überhaupt zwei zu einander complementäre Farben trifft[1]. Gleichwohl kann der Hypothese HERINGS das Verdienst nicht abgesprochen werden, dass sie in höherem Grade als die Dreicomponententheorie bemüht ist, den Forderungen, die sich von Seiten der subjectiven Thatsachen des Sehens erheben, gerecht zu werden. Auch den Begriffen der »Assimilation und Dissimilation« wird man, trotz der hypothetischen Natur der hierbei angenommenen Stoffwechselvorgänge, für den Gegensatz von Schwarz und Weiß insofern eine gewisse Berechtigung zugestehen können, als in der That die Annahme nicht unwahrscheinlich ist, dieser Gegensatz sei ein Specialfall des in der Mechanik des Nervensystems eine so wichtige Rolle spielenden Nebeneinander regenerativer und consumtiver oder, wie wir es wohl besser rein phänomenologisch ausdrücken, hemmender und erregender Processe (vgl. Bd. 1, S. 78 f.). Das Schwarz erscheint so als das der Sehsinnsubstanz, die ja eine vorgeschobene Provinz des centralen Nervensystems selbst ist, eigene Symptom regenerativer Hemmung, das Weiß als das consumtiver Erregung. In der Anerkennung dieses qualitativen Gegensatzes bringt die Psychophysik der Lichtempfindungen mit der erforderlichen Beschränkung auf die subjective Seite der Lichterscheinungen den Grundgedanken der GOETHE'schen Farbenlehre wieder zu Ehren. Dagegen liegt nicht der geringste Grund vor, diesen Gegensatz nun auch auf die Farben zu übertragen, die vielmehr sämmtlich Nebenerscheinungen der consumtiven Erregung, in diesem Sinne also dem Weiß verwandt sind, und nur in dem Grade der Erregung eine Abstufung zeigen, die von dem gleichzeitigen allgemeinen Erregungszustand, der sogenannten Adaptation der Netzhaut abhängt (PURKINJE'sches Phänomen).

Den Schwierigkeiten der Componententheorien scheint mir nun die oben dargelegte Stufentheorie zu entgehen, indem sie nicht nur über die sämmtlichen auf S. 233 bezeichneten Punkte widerspruchslose Rechenschaft zu geben sucht, sondern auch mit den sonstigen Unterschieden zwischen Helligkeitserregung und Farbenerregung in Bezug auf Verlauf, Nachbildwirkung u. s. w. in besserer Uebereinstimmung steht. Wenn gegen dieselbe der Einwand erhoben wurde, sie sei unvereinbar mit der Annahme eines photochemischen Ursprungs der Lichtreizung[2], so ist dies schwerlich begründet. Am nächsten dürfte es doch liegen, in diesem Fall an die färbenden Wirkungen des Lichtes auf complexe organische Verbindungen zu denken. Hier wissen wir aber, dass z. B. die Stoffe des Chlorophyllkorns die verschiedensten Färbungen annehmen können, denen natürlich Zersetzungsprocesse verschiedener Art entsprechen werden. So ist es denn auch vollkommen denkbar, dass in der Retina ein complexer Stoff existirt, in welchem durch das Licht Spaltungen eingeleitet werden, die sich in kurzen Intervallen mit der Wellenlänge ändern und Producte zurücklassen, die sich alsbald mit einander verbinden, um entweder ihre farbenerregenden Wirkungen zu combiniren oder zu compensiren, ähnlich wie zwei farbige Körper sowohl farbige wie farblose Verbindungen mit einander

[1] Vgl. oben S. 228 f.
[2] VON KRIES, Die Lehre von den Gesichtsempfindungen, S. 159.

erzeugen können. Ich leugne nicht, dass diese Vorstellung in gewisser Weise wieder auf die Annahme von Sehstoffen zurückführt; aber ich leugne, dass uns Anhaltspunkte zur Annahme einer irgend begrenzten Zahl und namentlich solcher Sehstoffe vorliegen, die in der »Sehsinnsubstanz« präformirt sind, und nicht vielmehr durch die Lichtreizung selbst erst gebildet werden, um dann theils Mischungseffecte, theils antagonistische Wirkungen hervorzubringen[1]. Ueberdies wird durch die subjective Analyse unabweislich die Annahme gefordert, dass die Farbenempfindung eine periodische Function sei, insofern die photochemischen Wirkungen der kürzesten Wellen denen der längsten wieder ähnlich werden, und indem innerhalb dieser Reihe je zwei Vorgänge sich antagonistisch verhalten. Es ist aber einleuchtend, dass sich auch dieser Annahme die Voraussetzung einer unbestimmt großen Zahl von der Wellenlänge abhängiger Spaltungsproducte besser fügt, als die Beschränkung auf drei, vier oder gar zwei farbige Sehstoffe[2].

Von Bedeutung für die Entscheidung zwischen den verschiedenen Theorien sind schließlich auch die Veränderungen der Licht- und Farbenempfindlichkeit auf den Seitentheilen der Netzhaut, die überdies, wie wir später (in Cap. XIV) sehen werden, für die Theorien der räumlichen Gesichtswahrnehmungen ein großes Interesse besitzen. Diese Veränderungen zerfallen wieder in die Zunahme der Empfindlichkeit für Helligkeiten und in die oben näher beschriebene Abnahme der Farbenempfindlichkeit (Bd. 1, S. 429 ff. und oben S. 178 ff.). Beide Veränderungen verlangen offenbar verschiedene Erklärungsgründe. Dass die erstgenannte nicht auf Abweichungen in der Beschaffenheit der reizbaren Sehsubstanzen zurückzuführen ist, wurde schon erörtert (S. 182). Man könnte daher vielleicht daran denken, eine von HELMHOLTZ aufgestellte Hypothese hier heranzuziehen. Um nämlich die unverhältnissmäßig rasche Abnahme der Sehschärfe in den Seitenregionen und zugleich die Empfindlichkeit jedes Netzhautpunktes für Licht zu erklären, nimmt HELMHOLTZ ein feines anastomosirendes Fasernetz an, das sich über die ganze Netzhaut ausbreite und sowohl mit den empfindenden Elementen wie mit den Opticusfasern in Verbindung stehe[3]. Doch abgesehen davon, dass es misslich ist, bei einem in seinen feinsten Details so sehr durchforschten Organ anatomische Substrate vorauszusetzen, von denen nichts nachzuweisen ist, scheint es mir, dass durch die früher (Bd. 1, S. 431) als wahrscheinlich hervorgehobene katoptrische Natur der Stäbchenaußenglieder alle hier vorliegenden Verhältnisse weit einfacher erklärt werden. Indem die Stäbchen als katoptrische Apparate die durch die Sehzellen hindurchgegangenen Strahlen nochmals auf jene zurückwerfen, bewirken sie eine Ausbreitung und eine Verstärkung der Lichterregungen, welche letztere schon durch die in Folge der dioptrischen Einrichtungen des Auges entstehende Abnahme der Helligkeit auf den Seitentheilen gefordert ist[4]. Anders verhält es sich mit der im Gegensatz zur Zunahme der Helligkeitsempfindung auf den Seitentheilen eintretenden Abnahme der Farbenempfindung. Die Art der hier

---

[1] Vgl. über die muthmaßliche Analogie der Netzhauterregung mit der Farbenphotographie mittelst Körperfarben oben Bd. 1, S. 458 ff.

[2] Vgl. Philos. Stud. Bd. 4, 1888, S. 371 ff.

[3] HELMHOLTZ, Physiologische Optik[2], S. 264.

[4] Vgl. hierzu A. KIRSCHMANN, Philos. Stud. Bd. 5, 1889, S. 491 ff.

zu beobachtenden Aenderungen lässt sich vom Standpunkte der Dreicomponententheorie aus durch die Annahme einer bloßen Aenderung in dem quantitativen Verhältniss der drei Endorgane nicht erklären. Man machte daher die Hülfsannahme einer gleichzeitigen qualitativen Aenderung derselben, durch die sich die drei Sehstoffe mit der Annäherung an die Peripherie immer ähnlicher werden sollten[1]. Damit ist eigentlich schon das Princip der Componententheorien (ähnlich wie durch die analoge Hülfsannahme der »unvollkommenen Trichromasie«) aufgegeben; denn wenn es die verschiedensten Uebergangsstufen zwischen den Sehstoffen geben kann, so gibt es eben überhaupt keine fest begrenzte Zahl farbiger Sehstoffe mehr, sondern diese bilden eine aus unbestimmt vielen Abstufungen bestehende Reihe, wie es die Stufentheorie behauptet. Ebenso sind aber die stattfindenden Veränderungen mit der Viercomponententheorie nicht vereinbar. Auch sie würde, wenn sie die in Fig. 193 (S. 179) dargestellte Lage der complementären Isochromen erklären wollte, eine qualitative Aenderung der Sehstoffe annehmen müssen, die überdies für je zwei zusammengehörige, Roth und Grün, Gelb und Blau, keineswegs gleichmäßig erfolgte.

In Folge der eigenthümlichen Auffassung, welche die Viercomponententheorie von den entgegengesetzten, dissimilatorischen und assimilatorischen Sehprocessen entwickelte, haben insbesondere auch noch die Contrast- und die Nachbilderscheinungen innerhalb der verschiedenen Theorien abweichende Deutungen erfahren. Auf die Contrasttheorien soll unten eingegangen werden, da der Contrast wegen seiner Beziehung zu andern analogen Erscheinungen zum Theil über das Gebiet der reinen Lichtempfindung hinausreicht. Die Nachbilder dagegen sind ein wesentlich optisches Phänomen. Sie wurden von der älteren Theorie als »Ermüdungserscheinungen« aufgefasst, während Hering in ihnen gegensätzliche Erregungen erblickt, die dem allgemeinen Gegensatz der Sehprocesse entsprächen. Nun ist gewiss nicht zu bestreiten, dass die sogenannte »Ermüdungstheorie« höchstens auf einen Theil der Erscheinungen anwendbar ist, und dass auch bei diesem der Ausdruck »Ermüdung« hier so wenig wie anderwärts über das Wesen der Vorgänge irgend einen Aufschluss gibt. Was man Ermüdung nennt ist, nicht anders als wie bei sonstigen nervösen Processen, ein bestimmtes Stadium des Erregungsvorganges, welchem ein entgegengesetztes Stadium der Fortdauer der ursprünglichen Erregung oder auch der oscillatorischen Wiederholung derselben vorangeht. Immerhin wird man sagen dürfen, dass sich auch in dieser Beziehung die Netzhaut durchaus ebenso verhält wie andere nervöse Apparate, nur dass bei ihr der Theil des Erregungsverlaufs, der der sogenannten Ermüdungsphase entspricht, eigenthümliche, von der besonderen Functionsweise abhängige Erscheinungen darbietet. Für die wesentliche Uebereinstimmung dieses späteren Stadiums mit sonstigen Ermüdungserscheinungen bildet dann aber allerdings jene Abhängigkeit der Entstehung complementärer Nachbilder von der Existenz reagirenden Lichtes, die in der Gültigkeit des Fechner-Helmholtz'schen Satzes (S. 201) eingeschlossen liegt, einen entscheidenden Beweis.

---

[1] A. Fick, Pflügers Archiv, Bd. 47, 1890, S. 247 ff. Helmholtz, Physiologische Optik[2], S. 372 ff.

Die aus der subjectiven Analyse der Empfindungen abgeleitete Sonderstellung der farblosen Erregung gegenüber der Gesammtheit der Farben dürfte schließlich mit den früher (Bd. 1, S. 386 ff.) berührten Thatsachen der Entwicklung der Lichtempfindungen wohl übereinstimmen. Diese Entwicklung, in der aller Wahrscheinlichkeit nach die Empfindung von Hell und Dunkel den Farbenempfindungen vorangeht, verlangt einen Process der farblosen Erregung, der nicht erst aus einer Vermischung von Farben entspringt. Dagegen wird man nicht umgekehrt sagen dürfen, dass auch die Farbenempfindung einen Process verlange, der unabhängig stattfinden könne. Denn es ist nicht anzunehmen, dass sie jemals für sich allein vorkommt; jedenfalls ist sie bei unserm eigenen Sehen stets von der farblosen Empfindung begleitet. Wir haben darum aber auch kein Recht, etwa für die farbige und für die farblose Erregung absolut verschiedene Sehsubstanzen vorauszusetzen, sondern genetisch verständlicher scheint die Annahme, dass in gewissen morphologischen Elementen die bisher nur zur farblosen Erregung geeigneten photochemischen Stoffe eine Beschaffenheit annehmen, wodurch sie gleichzeitig zur Erzeugung von Farben geeignet werden. Rücksichtlich der Bedingungen, die diese Entwicklung bestimmten, sind wir selbstverständlich auf Vermuthungen beschränkt. Da der Tastsinn als der gemeinsame Ausgangspunkt aller speciellen Sinnesentwicklungen erscheint, so liegt der Gedanke nahe, die Temperaturempfindungen der Haut mit den Lichtempfindungen in eine genetische Beziehung zu bringen. Zu einer Ausführung weiterer Analogien zwischen beiden Empfindungsqualitäten, wie eine solche PREYER[1] versucht hat, bieten sich aber doch allzuwenige Anhaltspunkte, und die früher (S. 8 ff.) erörterten speciellen Verhältnisse des Temperatursinns dürften diese Vermuthung kaum unterstützen. Nicht minder widerspricht dem die ebenfalls schon erwähnte Thatsache, dass augenlose oder geblendete Thiere sich für Hell und Dunkel und sogar für starke Farbenunterschiede, wie Roth und Blau, empfindlich zeigen, ohne dass gleichzeitig bestimmte Temperaturunterschiede mit einwirken. Das lichtempfindliche Organ ist aber in solchen Fällen nachweislich die allgemeine Körperoberfläche[2].

GRANT ALLEN hat erörtert, dass bei den Insekten die Aufsuchung der in Blüthen enthaltenen Nahrung, wie sie die Farbenmannigfaltigkeit der Blumen verstärkt habe, so wiederum durch den Kampf ums Dasein die Entwicklung des Farbensinns befördert haben werde[3]. Aehnlich hat man vermuthet, dass die Unterscheidung verschieden gefärbter Objecte bei den lebenden Wesen feiner geworden sei, weil sie ihnen nützlich war. Den letzten Grund des Vorgangs wird man aber hier wiederum in dem Kampf ums Dasein schwerlich sehen können, da eine Farbenunterscheidung schon existiren musste, ehe sie nützlich werden konnte. Im Widerspruch mit der Annahme GRANT ALLENS fand überdies V. GRABER, dass die Thiere, wenn man ihnen zwischen

[1] PREYER, PFLÜGERS Archiv, Bd. 25. 1881, S. 78 ff. Wenn derselbe aber vollends die Farben mit den Temperatur-, das Farblose mit den Druckempfindungen in Parallele bringt, so ist dies eine Hypothese, für die keine einzige wirkliche Thatsache spricht, und die sich nur auf unzureichende Analogien stützt.

[2] V. GRABER, Grundlinien zur Erforschung des Helligkeits- und Farbensinns der Thiere. 1884, S. 293 ff. Vgl. auch oben Bd. 1, S. 388.

[3] GRANT ALLEN, The colour-sense, its origin and development. 1879. Deutsche Ausg. von E. KRAUSE. 1880.

verschiedener farbiger Beleuchtung die Wahl lässt, im allgemeinen nicht die Farbe einzelner auffallend gefärbter Objecte, sondern diejenige ihres allgemeinen Gesichtsfeldes, so also z. B. die fliegenden Thiere das Blau oder Weiß bevorzugen[1]. Auf Grund der Sprachvergleichung hat endlich LAZARUS GEIGER sogar angenommen, die feinere Entwicklung des Farbensinns sei ein verhältnissmäßig spätes Product menschlicher Entwicklung, da den älteren Sprachformen die Bezeichnungen für gewisse Farben fehlen[2]. Die Hellenen zur Zeit des Homer würden hiernach z. B. zwar Roth und Grün, aber noch nicht Blau empfunden haben, und die Entwicklung der Empfindungen Orange, Indigblau, Violett würde sogar erst den allerletzten Jahrhunderten angehören. Diese Hypothese übersieht, dass die Wahl sprachlicher Bezeichnungen, wie oben erörtert wurde, überall von Naturobjecten und von praktischen Bedürfnissen bestimmt gewesen ist, die über die Existenz der Empfindungen selber nichts entscheiden. Noch heute findet sich bei Naturvölkern eine verhältnissmäßige Armuth in der sprachlichen Unterscheidung der Farben, ohne dass sich bei genauerer Prüfung eine generelle Verbreitung partieller Farbenblindheit herausstellt[3]. Ja selbst bei Thieren ist nicht nur die Unterscheidung von Hell und Dunkel, sondern auch eine meist mit bestimmter Bevorzugung verbundene und bei einzelnen Arten sichtlich verhältnissmäßig feine Unterscheidung von Farbenstufen weit verbreitet[4]. So unzweifelhaft es also ist, dass sich die Farbenempfindungen entwickelt haben, so unwahrscheinlich ist es, dass sich diese Entwicklung seit der Zeit der Existenz des Menschen bei diesem in irgend nennenswerther Weise verändert hat.

k. Theorie der Contrasterscheinungen.

Eine Reihe von Erscheinungen bleibt noch übrig, über welche die oben besprochenen Theorien keine zureichende Rechenschaft geben, und offenbar deshalb nicht geben können, weil hier außer den Bedingungen der Lichterregung noch andere Momente, die dem allgemeineren Bereich psychischer Wechselbeziehungen angehören, hereinspielen: die Contrasterscheinungen. Dabei muss jedoch von vornherein betont werden, dass sich die beim Gesichtssinn unter diesem Namen zusammengefassten, oben (S. 207 ff.) beschriebenen Phänomene mit dem was in sonstigen Fällen, z. B. bei den Gewichtsschätzungen (S. 23) oder bei den räumlichen und zeitlichen Vorstellungen (Abschn. III), als »Contrast« bezeichnet wird, jedenfalls nur theilweise berühren[5]. Auch ist die größere

---

[1] V. GRABER, a. a. O. S. 266 ff. Vgl. oben Bd. 1, S. 369.

[2] L. GEIGER, Zur Entwicklungsgeschichte der Menschheit. 1871, S. 56 ff. Vgl. zu dieser Frage Völkerpsychologie, Bd. 1, II, S. 512 ff.

[3] GRANT ALLEN, a. a. O. H. MAGNUS, Untersuchungen über den Farbensinn der Naturvölker. 1880. R. ANDREE, Zeitschrift für Ethnologie, Bd. 10, S. 323. A. S. GATCHET, Americ. Naturalist, vol. 13, p. 475.

[4] V. GRABER, a. a. O. S. 26, 222 ff. Vgl. oben Bd. 1, S. 388.

[5] Besser ganz aus dem Spiele bleiben muss bei diesen Contrasterscheinungen im Gebiet der Empfindungen und Vorstellungen überhaupt der »Contrast der Gefühle«, wenn es auch bei ihm, wie die gemeinsame Unterordnung unter den Begriff des Gegensatzes

Mannigfaltigkeit der bei den Lichtempfindungen obwaltenden Bedingungen wohl die Ursache, dass die Theorien über Licht- und Farbencontrast im ganzen noch weit mehr divergiren als die allgemeinen Theorien der Lichtempfindung, indem man in der Regel nur eine Seite dieser Erscheinungen beachtet, und die andere entweder ignorirt oder durch irgend welche Hülfshypothesen zu eliminiren sucht. Auf diese Weise stehen sich namentlich die zuerst von PLATEAU aufgestellte, dann von BRÜCKE, HERING u. A. vertheidigte physiologische, und die hauptsächlich von HELMHOLTZ durchgeführte »psychologische Theorie« des Contrastes gegenüber.

Die physiologische Contrasttheorie führt den Simultancontrast auf eine antagonistische Erregung zurück, die irgend ein Lichtreiz stets in seiner Umgebung hervorrufe. Sie bringt daher den Contrast in nächste Beziehung zu den negativen und complementären Nachbildern, und sieht in ihm eine Irradiation der Erregung, bei der aber entweder von Anfang an oder doch nach einer sehr kurzen Zwischenzeit die antagonistische Wirkung überwiege. Die physiologische Theorie stützt sich dabei hauptsächlich auf die Erscheinungen des Randcontrastes. Ueberall wo eine weitere Ausbreitung der Erscheinung stattfindet, ist sie geneigt, dies auf Nachbildphänomene zurückzuführen, die leicht bei längerer Betrachtung der Contrastobjecte und in Folge von Augenbewegungen in der Nachbarschaft der inducirenden Fläche entstehen können. Dass solche Nachbildwirkungen in der That nicht selten in den älteren Versuchen eine Rolle spielten, lehrt denn auch der leicht zu führende Nachweis, dass manche der beschriebenen Erscheinungen, die auf eine weitere Ausbreitung der Contrastwirkungen oder auf psychologische Momente bezogen wurden, bei starrer Fixation verschwinden, sich also wirklich mit Wahrscheinlichkeit als Nachbildwirkungen erweisen[1]. Die sogenannte psychologische Theorie dagegen legt gerade auf jene außerhalb der Sphäre des Randcontrastes auftretenden Erscheinungen sowie auf die Besonderheiten, die sich beim MEYER'schen Versuch, bei den Erscheinungen der rotirenden Scheiben darbieten, und auf die Bedingungen, unter denen bei diesen Versuchen der Contrast verstärkt oder beseitigt wird, besonderes Gewicht, indem sie zugleich den psychologischen Charakter dieser Bedingungen betont. Dabei hat dann freilich diese psychologische Theorie ihren

---

verräth, an Beziehungen nicht ganz fehlt. Mit Recht hat übrigens W. WIRTH (Zeitschrift für Psychologie, Bd. 18, 1898, S. 49 ff.) darauf hingewiesen, dass die Anwendung des Wortes »Contrast« auf so mannigfaltige Erscheinungen den Uebelstand mit sich führt, dass man die Thatsachen selber oft mehr, als es berechtigt ist, in eine innere Beziehung zu bringen sucht.

[1] E. HERING, Zur Lehre vom Lichtsinn, II und III, Wiener Sitzungsber. Bd. 68 (3), 1873, S. 186, 229 ff. PFLÜGERS Archiv, Bd. 40, S. 159. Bd. 41, 1887, S. 1 ff.

besonderen Charakter durch die herrschende vulgäre Reflexionspsychologie gewonnen, deren man sich bei der speciellen Interpretation der Erscheinungen bediente. Hier sind es nämlich stets Urtheile, die nicht einmal einfacher Art, sondern meist auf ziemlich verwickelte Reflexionen und Schlüsse gegründet sind, welche als die Ursachen der Contrasterscheinungen betrachtet werden. Nicht nur Vergleichungen mit gleichzeitig gegenwärtigen Reizen, sondern auch Erinnerungen an frühere Eindrücke sollen dabei eine wesentliche Rolle spielen, und in dem Umstande, dass uns bei schwachen Reizen die Erinnerung leichter täuschen könne als bei intensiveren, soll daher speciell der begünstigende Einfluss der schwächeren Helligkeits- und Sättigungsgrade bestehen, wie er bei MEYERs Versuch und an den Schatten und rotirenden Scheiben zu beobachten ist[1]. Die innere Unwahrscheinlichkeit, um nicht zu sagen Unmöglichkeit dieser Theorie wurde dann wiederum von den Anhängern der physiologischen Contrasterklärung als eine entscheidende Instanz gegen j e d e Art psychologischer Erklärung überhaupt angesehen, da für sie die Begriffe »Urtheilstheorie« und »psychologische Theorie« schlechthin zusammenfielen, eine Verwechselung, die bei den in der Physiologie im allgemeinen herrschenden psychologischen Vorstellungen nicht befremden kann. Denn nach diesen sind eben psychische Vorgänge und logische Reflexionen im wesentlichen identische Begriffe[2]. Da nun noch überdies der Kritik jener »Urtheilstäuschungen« der Umstand zu Hülfe kam, dass in einzelnen Fällen, wie namentlich bei den farbigen Schatten, gewisse auf solche Täuschungen bezogene Färbungen verschwinden, wenn Augenbewegungen vermieden werden, so galt damit die physiologische Theorie manchen Beobachtern für erwiesen, um so mehr, als man den Erscheinungen meist von vornherein mit der Absicht gegenübertrat, sie auf einheitliche, mit sonstigen theoretischen Voraussetzungen übereinstimmende Ursachen zurückzuführen.

Nun ist es aber kaum gerechtfertigt, wenn man einem Gebiet von Erscheinungen wie diesem von vornherein mit der Alternative gegenübertritt: entweder physiologisch oder psychologisch, ein drittes gibt es nicht. Diese Alternative ist hier um so weniger zulässig, weil bei solchen relativ elementaren Bewusstseinserscheinungen eben dieses Dritte, nämlich sowohl physiologisch wie psychologisch, im allgemeinen wirklich vorauszusetzen ist. Bei dem WEBER'schen Gesetze z. B. schlägt die psychologische Deutung die rein physiologische auch deshalb, weil sie nebenbei die physiologische nicht ausschließt, indem sie der doppelseitigen Natur

[1] HELMHOLTZ, Physiologische Optik[1], S. 396 ff. [2] S. 543 ff.

[2] HERING, Ueber den Begriff Urtheilstäuschung in der physiologischen Optik, PFLÜGERS Archiv, Bd. 41, 1887, S. 91.

eines solchen einfachen Apperceptionsvorganges wie der Vergleichung von Empfindungsintensitäten gerecht zu werden sucht (Bd. 1, S. 552 f.). Bei dem Contrast sind wir aber in noch höherem Grade auf eine solche Beachtung der doppelseitigen Natur der Vorgänge hingewiesen, weil hier schon die Erscheinungen selbst, wenn man sie unbefangen und nicht von vornherein unter den Leitmotiven irgend eines Dogmas prüft, von zwiespältiger Natur sind, wie dies die auffallenden Unterschiede der beiden Contrastformen zeigen, die wir oben als den »Contactcontrast« und den »Florcontrast« einander gegenübergestellt haben. Hier könnte es daher sehr wohl sein, dass bei der einen dieser Contrastformen die physiologischen, bei der andern die psychologischen Einflüsse dominirten. In der That wird diese von vornherein durch die eigenthümlichen Unterschiede der Erscheinungen nahe gelegte Vermuthung durch die nähere Verfolgung ihrer abweichenden Gesetzmäßigkeiten bestätigt.

Betrachtet man nämlich zunächst den Randcontrast, so hebt sich dieser dadurch sofort von den übrigen Contrasterscheinungen ab, dass er, auch wenn man Nachbildwirkungen durch möglichst kurz dauernde Einwirkung der Reize und sichere Fixation ausschließt, deutlich mit der Stärke der inducirenden Eindrücke an intensiver wie extensiver Größe zunimmt. Jede Netzhauterregung scheint also in ihrer nächsten Umgebung eine antagonistische Contactwirkung rein physiologischer Art hervorzurufen. Wenn wir uns des Zusammenhangs der Netzhautelemente erinnern, so liegt die Annahme nahe, dass jene horizontalen Zellen, deren Ausläufer Verbindungen zwischen den benachbarten Sehzellen zu vermitteln scheinen, die Substrate dieser unmittelbaren Contactwirkungen seien (Bd. 1, Fig. 141, S. 425). Physiologische Analogien solcher antagonistischer Contactwirkungen begegnen uns auch sonst innerhalb der centralen Substanz, speciell in der Hirnrinde, zu der ja die Retina nach Structur und Entwicklung gehört. Viele der centralen Erscheinungen, die dem Gebiet circumscripter Steigerungen der Erregbarkeit angehören, scheinen darauf hinzuweisen, dass eine local beschränkte Reizung centraler Substanz einen Zufluss disponibler Stoffe aus den Elementen der Nachbarschaft zur unmittelbaren Folge hat, so dass der Erregungsherd von einem Hof verminderter Erregbarkeit umgeben ist[1]. Uebertragen wir dies auf die Netzhaut, so wird hier der Hof, der die gereizte Stelle umgibt, in dem Sinne verändert werden, dass seine Reizbarkeit für die Eindrücke, die dem Erregungsherd selbst angehören, abnimmt, und demnach für die entgegengesetzten relativ zunimmt, so dass er, wenn ihn von außen reagirendes Licht trifft, in der contrastirenden Farbe und Helligkeit erscheint. Insofern

[1] Vgl. oben Bd. 1, S. 91, und unten Abschn. V die Theorien von Traum und Hypnose.

ist also der Randcontrast eine den negativen und complementären Nachbildern verwandte Erscheinung, und wie diese ist er an das Vorhandensein reagirenden Lichtes gebunden. Er ist aber ein in sehr kurzer Zeit nach Beginn der Reizung eintretendes Phänomen, weil sofort mit dem Eintritt des Reizes auch jene zersetzende Wirkung der Erregung und damit deren Rückwirkung auf die Umgebung der erregten Stelle entsteht.

Von diesen für die Erklärung des Randcontrastes nahe gelegten, rein physiologischen und ausschließlich den peripheren Mechanismus der Reizung betreffenden Annahmen nöthigt nun der Contactcontrast in der weiteren Bedeutung dieses Wortes kaum abzugehen, da die unter diesem Namen zu begreifenden diffuseren Wirkungen auf eine außerhalb der Randzone liegende Umgebung bei fester Fixation außerordentlich schwach sind, so dass sie sich wohl als spurweise Fortsetzungen der nächsten physiologischen Randwirkungen deuten ließen. Ganz anders verhält es sich jedoch mit der dritten Form, mit dem Florcontrast; und im Hinblick auf die Eigenschaften, die dieser bietet, wird man dann freilich auch nicht umhin können, schon bei dem sonst von Florwirkungen freien Contactcontrast Anfänge ähnlicher Erscheinungen anzunehmen. Der Florcontrast unterscheidet sich nämlich 1) hinsichtlich seiner Ausbreitung über die reagirende Fläche, 2) in der Gesetzmäßigkeit, der er mit der zunehmenden Intensität oder Sättigung des inducirenden Reizes folgt. Natürlich kann es sich hier übrigens stets nur um solche Erscheinungen des reinen Florcontrastes handeln, bei denen durch die kurze Dauer der Reizwirkung und durch die festgehaltene Fixation Nachbilder ausgeschlossen sind, wie das besonders in den in Fig. 209 (S. 223) schematisirten Scheibenversuchen zutrifft. Nun steht ein auf solche Weise beobachteter Florcontrast (dieser Ausdruck in dem oben festgestellten weiteren Sinne genommen) unter völlig entgegengesetzten Bedingungen wie der Randcontrast. Steigt dieser mit der Intensität des inducirenden Reizes, so erreicht jener bei einer sehr geringen Stärke desselben sein Maximum, um dann allmählich wieder zu sinken. Dieser Unterschied nimmt ferner zu, wenn man die Florwirkung durch Verwischung der Conturen steigert. Diese Verwischung, wie man sie z. B. durch die Betrachtung der Objecte mit schwach zerstreuenden Linsen oder durch die Bedeckung mit durchscheinendem Papier erzeugt, ist aber nicht, wie man denken könnte, eine Folge der nun diffuser werdenden Wirkung des Randcontrastes. Denn die Steigerung und Ausbreitung des Contrastes steht bei vorsichtiger Anstellung des Versuchs in gar keinem Verhältniss zu der Ausdehnung des Zerstreuungskreises. Wenn dieser z. B. hoch geschätzt 3 mm beträgt, so kann er nicht wohl direct eine sich auf 4—5 cm erstreckende Contrastfärbung verstärken. Ueberdies ist der wirklich zu beobachtende Randcontrast gerade in diesen Fällen sehr

schwach oder ganz verschwindend, so dass der Zerstreuungskreis nicht sowohl den Contrastring als vielmehr die Grenzen der inducirenden und reagirenden Fläche selbst trifft, die hier in einer schmalen Zone in einander fließen.

Dieser Gegensatz in den Bedingungen und in den Verlaufsgesetzen des Flor- und des Randcontrastes bei steigender Sättigung der Farben lässt sich kaum anders als in dem Sinne deuten, dass beide Erscheinungen wesentlich verschiedenen Ursprungs sind, indem der Randcontrast auf ausschließlich physiologische, der Florcontrast mindestens auf theilweise mitwirkende psychologische Momente zurückführt, wobei natürlich nicht ausgeschlossen ist, dass auch diese physiologisch fundirt sein mögen. Wie lässt sich nun aber in diesem Fall, wo es sich doch anscheinend um reine Empfindungen handelt, eine psychologische Wirkung denken? Mit welchen allgemeinen psychologischen Thatsachen lässt sie sich in Zusammenhang bringen? Von Reflexionen und Urtheilen, wie sie die fälschlich sogenannte »psychologische« Theorie, die man eher die logische nennen sollte, annimmt, kann natürlich absolut keine Rede sein. Treten doch die Erscheinungen hier mit ebenso zwingender Gewalt auf wie bei andern Empfindungsinhalten: es kann sich also nur um associative Wirkungen handeln, denen, namentlich wo sie in simultanen Verbindungen oder in Wechselwirkungen psychischer Elemente bestehen, auch sonst vielfach ein dem unmittelbaren sinnlichen Eindruck durchaus entsprechender Effect zukommt. Um der näheren Beschaffenheit dieser simultanen Associationswirkungen näher zu kommen, sei hier zunächst an zwei, ebenfalls dem Gebiet des Gesichtssinnes angehörige Erscheinungen analoger Art erinnert, die sich freilich dadurch unterscheiden, dass sie räumliche Eindrücke, nicht Helligkeiten und Farben betreffen. Wenn man von zwei Sectoren von genau gleicher Größe den einen zwischen zwei andern einfügt, die um ein weniges größer, den andern zwischen zwei, die ebenso um ein eben merkliches kleiner sind, so erscheinen die zwei gleichen Sectoren nunmehr verschieden, indem sich jeder seiner Umgebung angleicht. Dieser Versuch gelingt aber nur, wenn die Unterschiede der Sectoren sehr klein sind. Nimmt man dieselben größer, so verschwindet zuerst die angleichende Wirkung, und dann tritt, wenn man noch weiter geht, das Gegentheil, nämlich eine contrastirende Wirkung ein: der zwischen zwei viel schmaleren Sectoren eingeschlossene Sector erscheint nun größer als der zwischen zwei erheblich breiteren Sectoren liegende. Dabei ist dieser Contrast viel bedeutender als die vorher beschriebene angleichende Wirkung[1]. Nun sind, wie ich glaube, bei dem

[1] Die geometrisch-optischen Täuschungen, Abhandlungen der sächs. Ges. der Wiss.

Florcontrast diese beiden Associationseinflüsse zugleich vorhanden, und sie wirken diesmal in gleichem Sinne. Einerseits nämlich wirkt der Randcontrast angleichend auf die umgebende Fläche, und das um so mehr, je weniger er scharf begrenzt ist, was durch die Conturenverwischung des Flors geschieht. Der Randcontrast geht so continuirlich in einen diffusen Contrast über, der erst in beträchtlicher Entfernung von der Grenze verschwindet. Anderseits wirkt aber auch die inducirende Farbe oder Helligkeit zunächst auf den Randcontrast selbst, und dann auf den von diesem ausgehenden diffusen Contrast in dem Sinne, dass der Unterschied der Empfindungen verstärkt wird, eine bei den Complementärfarben ihr Maximum erreichende Wechselbeziehung, die bis zu einem gewissen Grade selbst da zu beobachten ist, wo die Farben oder Helligkeiten räumlich getrennt sind. Hier wird nun dieser Contrast durch den in gleicher Richtung wirkenden angleichenden Einfluss des Randcontrastes wesentlich unterstützt. Man könnte einwenden, die Berufung auf die analogen Beispiele räumlicher Induction sei deshalb nicht zutreffend, weil es sich bei diesen um complicirte Wahrnehmungen, beim Licht- und Farbencontrast um einfache Empfindungen handle. Darauf ist zunächst zu entgegnen, dass einfache Empfindungen, insofern wir dieselben als isolirt aus allen ihren Verbindungen denken, überhaupt nur in unserer Abstraction existiren, und dass sie sich in der Wirklichkeit natürlich den Wechselwirkungen mit andern Empfindungen namentlich da nicht entziehen können, wo die räumliche Vertheilung der Eindrücke, wie beim Gesichts- und Tastsinn, zu unmittelbaren Beziehungen der gleichzeitigen Empfindungen herausfordert. Bekräftigt wird diese Schlussfolgerung außerdem dadurch, dass wir ähnliche associative Wirkungen, namentlich solche angleichender Art, wie sie hier für die Beziehung von Randcontrast und diffusem Contrast vorausgesetzt sind, gerade beim Gesichtssinn auch sonst noch beobachten. Wenn man ein begrenztes kleines Object von bestimmter Farbe für sich isolirt im indirecten Sehen beobachtet, so nimmt, wie oben (S. 179) bemerkt wurde, die Farbenwirkung in den seitlichen Theilen des Sehfeldes zuerst ab und verschwindet endlich ganz. Wenn man aber eine gleichförmig ausgedehnte farbige Fläche betrachtet, so sieht man diese bis weit in die an sich die Farbenempfindung entbehrenden Theile des Sehfeldes hinein farbig. Dass hier eine periphere Contactwirkung nicht im Spiele sein kann, ist einleuchtend. Denn die peripheren Elemente, die zur Farbenerregung unfähig sind, können diese doch unmöglich durch die Einflüsse benachbarter Elemente gewinnen. Der angleichende Einfluss kann also nur centraler Natur sein. Noch schlagender beweist das

---

Math.-phys. Cl. Bd. 24, 1898, S. 141. Vgl. auch unten Cap. XIV, 3, und Abschn. V (simultane Associationen).

nämliche der blinde Fleck. Fällt ein Bild auf diesen Fleck, so verschwindet es im Gesichtsfeld. In einem continuirlich mit einer und derselben Empfindung ausgefüllten Sehfeld bemerken wir aber den blinden Fleck nicht, gewiss nicht deshalb, weil die sonst das Licht direct nicht empfindenden Sehnervenfasern nun mit einem Mal sehend würden, sondern wiederum, weil centrale Wirkungen oder, wie wir es, da uns die psychologische Seite dieser elementaren Vorgänge sicherer bekannt ist, in diesem Fall besser ausdrücken, weil eine associative Angleichung der unerregten und unerregbaren Netzhautstellen an die ihnen benachbarten eingetreten ist[1]. Hiernach nehmen die Contrasterscheinungen im Gebiet der Licht- und Farbenempfindungen eine eigenartige Stellung ein, insofern sie theils *rein physiologischen*, theils *psychologischen* oder psychophysischen Ursprungs sind. Der physiologische Contrast fällt im wesentlichen mit dem Randcontraste zusammen, und es würde wohl zweckmäßiger sein, bei ihm den Namen Contrast überhaupt aufzugeben und ihn als *antagonistische Contacterregung* zu bezeichnen. Der psychologische dagegen oder der eigentliche Contrast deckt sich im wesentlichen mit den diffusen Contrasterscheinungen, insoweit sie bei starrer Fixation der Objecte bestehen, und er beruht aller Wahrscheinlichkeit nach auf dem Zusammenwirken von *zweierlei* associativen Elementarprocessen, die sonst in der Regel getrennt vorkommen, hier sich aber zu dem gleichen Endeffect vereinigen. Der Ausdruck »Contrast« ist demnach auch für diese psychologische Seite der Erscheinungen, ähnlich wie in den andern Fällen seiner Anwendung, nur als eine Bezeichnung zu betrachten, die sich auf gewisse analoge Wirkungen von gegensätzlichem Charakter bezieht, wobei diese in jedem einzelnen Fall eine Analyse ihrer besonderen Bedingungen erfordern.

Die Lehre vom Contrast hat, wie andere Theile der Empfindungslehre, und vielleicht mehr als die meisten derselben, unter dem Schicksal zu leiden, dass fast von dem Augenblick an, wo man sich mit denselben näher zu beschäftigen begann, bereits auf Grund anderer Erscheinungen fertige theoretische Vorstellungen bereit lagen, die Thatsachen, die man vorfand, zu assimiliren und der Untersuchung selbst ihre Richtung anzuweisen. So war anfänglich besonders die Analogie mit den negativen Nachbildern maßgebend,

[1] Vgl. unten Abschn. III, Cap. XIV. Ich besitze leider einen directen Beleg für die nahe Beziehung dieser normalen Wechselbeziehungen zu den Contrasterscheinungen in den Erscheinungen, die ich an der oben (S. 227) erwähnten central gelegenen, total erblindeten Stelle meines rechten Auges beobachten kann. Lasse ich auf die Umgebung derselben farbige Eindrücke einwirken, so sehe ich die blinde Stelle regelmäßig zuerst grau oder schwach gleichfarbig. Nach einiger Zeit tritt aber die Contrastfarbe hervor: auf Gelb wird mit Violett, auf Grün mit Roth, auf Blau mit Gelb reagirt; nur auf Roth und Purpur erscheint keine deutliche Contrastfarbe.

wie dies die Bezeichnungen »simultaner und successiver Contrast« schon andeuten: beide Contraste wurden als identisch, der eigentliche Contrast demnach für eine besondere Form des Nachbildes angesehen[1]. Es ist hauptsächlich FECHNERS Verdienst, nachgewiesen zu haben, dass Contrast unter Bedingungen entstehen könne, unter denen negative und complementäre Nachbilder nicht vorkommen, so dass von nun an erst der Contrast als eine selbständige Erscheinung betrachtet wurde[2]. Dabei ließ übrigens FECHNER die Frage nach dem Ursprung der Contrasterscheinungen dahingestellt, abgesehen davon, dass er bei seinen Versuchen über farbige Schatten einige Erscheinungen beobachtete, die ihm psychologische Nebeneinflüsse wahrscheinlich machten. Um so mehr standen in der folgenden Zeit die Debatten über den Contrast durchaus unter dem Einfluss bestimmter theoretischer Gesichtspunkte. Indem HELMHOLTZ theils von FECHNERS Schattenversuchen theils von MEYERS Versuchen über die Wirkung durchscheinender Papiere ausging, wurde er zu seiner Urtheilstheorie geführt, in Folge deren er nun Beobachtungen in den Vordergrund stellte, die dieser Theorie günstig waren, und die demnach hauptsächlich dem Gebiet des Florcontrastes angehörten. Er wies darauf hin, dass der Contrast bedeutend vermindert wird, sobald wir den inducirten Eindruck auf ein gesondertes Object beziehen, verkannte aber die wahre Bedeutung der Sättigungsverhältnisse der contrastirenden Farben, weil er sich zu sehr an die speciellen Bedingungen des MEYER'schen Versuchs hielt, die ihn zugleich zu seinen psychologisch ganz unhaltbaren logischen Interpretationsversuchen veranlassten. Die contrasterhöhende Wirkung des bedeckenden Briefpapiers bezog nämlich HELMHOLTZ darauf, dass wir den grauen Fleck scheinbar durch eine farbige Bedeckung sehen sollen. Befindet sich z. B. ein graues Papierstückchen auf rothem Grunde, und decken wir nun ein durchscheinendes Papier darüber, so sollen wir alles durch ein gleichförmig gefärbtes rosarothes Papier zu sehen glauben: ein Object, das durch ein rosarothes Medium gesehen grau empfunden wird, müsse aber grünlichblau sein, und daher erscheine der graue Fleck in dieser Farbe. Aehnlich ist seine Erklärung des Versuchs von RAGONI SCINA mit der spiegelnden Glasplatte. Bei den farbigen Schatten soll nach ihm die »Urtheilstäuschung« in folgender Weise entstehen: Wir sind gewohnt das verbreitete Tageslicht weiß zu sehen; ist nun ausnahmsweise dasselbe nicht weiß, sondern röthlich, so ignoriren wir diese Abweichung ganz oder theilweise; wenn wir aber eine röthliche Beleuchtung weiß sehen, so muss uns ein in Wirklichkeit grauer Schatten so erscheinen, als wenn ihm zu Weiß etwas rothes Licht fehlte, also grünblau. HELMHOLTZ stützte sich bei dieser Auffassung der Schattenversuche auf Beobachtungen von FECHNER. Nimmt man nämlich, nachdem die Contrastfarbe entstanden ist, eine innen geschwärzte Röhre und blickt durch dieselbe auf den farbigen Schatten, so dass aus der Umgebung desselben kein Licht in das Auge eindringt, so erscheint er trotzdem fortan gerade so gefärbt, als da man ihn mit freiem Auge beobachtete; und die Färbung bleibt selbst dann während kurzer Zeit bestehen, wenn man durch Wegziehen der gefärbten Glasplatte die farbige Beleuchtung aufhebt

---

[1] CHEVREUL, Mém. de l'acad. de Paris, t. 11, 1832. PLATEAU, POGGENDORFFS Ann. Bd. 23, 1836, S. 533. Bd. 38, 1836, S. 626.

[2] FECHNER, POGGENDORFFS Ann. Bd. 44, 1838, S. 221. Bd. 50, 1840, S. 483. Ber. der sächs. Ges. der Wiss. 1860, S. 71.

oder durch eine zweite Glasplatte in eine andersfarbige verwandelt. Es hat jedoch HERING gezeigt, dass diese Erscheinungen um so mehr verschwinden, je fester man den Schatten fixirt. Sie dürften daher, wenigstens zum größten Theil, auf die bei ungenauer Fixation entstehenden complementären Nachbilder der inducirenden farbigen Beleuchtung zurückzuführen sein, so dass sie jedenfalls für die Urtheilstheorie nicht zu verwerthen sind[1]. Gegen diese Theorie erheben sich aber noch andere erheblichere Bedenken, die sich zum Theil schon aus den Versuchen selbst, die zu Gunsten derselben ins Feld geführt wurden, ergeben. Wenn beim MEYER'schen Versuch wirklich die Täuschung obwaltete, dass wir durch ein gefärbtes Papier zu sehen glauben, so müsste der Contrast um so intensiver sein, je mehr das Papier gefärbt ist, je durchscheinender man also die Bedeckung nimmt: dies ist aber nicht der Fall, sondern man findet, dass eine sehr dünne Bedeckung auf gesättigtem Grunde nur geringen Contrast gibt, und dass das bedeckende Papier offenbar nur dadurch wirkt, dass es eben die Helligkeits-, Sättigungsverhältnisse und Conturenwirkungen herstellt, die dem »Florcontrast« eigen sind, die aber auch unter Bedingungen hergestellt werden können, bei denen von jener von HELMHOLTZ vorausgesetzten Illusion nicht die Rede sein kann, wie z. B. an den rotirenden Scheiben. Die unwahrscheinliche Deutung, welche die HELMHOLTZ'sche Theorie den meisten Contrasterscheinungen gibt, ist wohl die Ursache gewesen, dass auch nach Aufstellung derselben eine Reihe von Beobachtern, wie FECHNER[2], ROLLET[3], E. MACH[4], HERING[5] und in verschiedenen neueren Arbeiten PLATEAU[6], an der Hypothese einer physiologischen Wechselwirkung der Netzhautstellen festhielten. Dabei sind dann freilich nicht bloß die wesentlichen Unterschiede in dem Verhalten des Contact- und des Florcontrastes meistens völlig unbeachtet geblieben, sondern auch Erscheinungen, die HELMHOLTZ zweifellos mit Recht als solche bezeichnet hatte, die nicht aus physiologischen Contactwirkungen abzuleiten seien, wurden entweder nicht berücksichtigt oder, nachdem einmal bei den Schattenversuchen Irrungen durch Nachbilder zugestanden werden mussten, ohne zureichende Belege ebenfalls auf solche bezogen. Erscheinungen dieser Art sind die von HELMHOLTZ bei dem MEYER-schen Versuch beobachteten Aufhebungen des Contrastes durch die Vergleichug mit unabhängig gegebenen Objecten. Bringt man nämlich an den von dem farbigen Hof umgebenen contrastirenden Fleck des durchscheinenden Papiers ein graues Papierschnitzel heran, welches genau die gleiche Helligkeit wie der inducirte Fleck selbst besitzt, so vermindert sich die Inductionswirkung sehr bedeutend und kann unter Umständen ganz schwinden; und zwar tritt dieser Erfolg bei ganz ruhiger Fixation ein, so dass bei den ohnehin sehr schwachen Sättigungen und Helligkeiten an die Betheiligung unbeachtet gebliebener complementärer Nachbilder nicht zu denken ist. HELMHOLTZ, der in der 2. Auflage seiner physiologischen Optik manche seiner früheren Versuche als nicht beweisend preisgab, hat, wie ich glaube, diese Beobachtung mit vollem Recht

---

[1] HERING, PFLÜGERS Archiv, Bd. 40, 1887, S. 172 ff. Bd. 41, S. 1 ff. Bd. 43, 1889, S. 1 ff.

[2] Ber. der sächs. Ges. der Wiss. 1860, S. 131.

[3] Wiener Sitzungsber. Bd. 55, April 1867. Separatabdruck S. 21.

[4] Ebend. Bd. 52, S. 317. Vierteljahrsschrift für Psychiatrie, Bd. 2, 1868, S. 46.

[5] Zur Lehre vom Lichtsinn. 1.—3. Mittheilung. PFLÜGERS Archiv, Bd. 40—43.

[6] Bulletin de l'acad. de Belgique, 2. sér. t. 39, p. 100. t. 42, p. 535, 684.

stehen lassen. Eine für mich selbst und mehrere andere Personen, die ich die Beobachtung ausführen ließ, schlagende Form des Versuchs ist z. B. die folgende, bei der man sich der Kreuze in Fig. 201 (S. 208) bedienen kann. Man verfertige sich einen Papierstreifen von demselben Grau wie die Kreuze und genau so lang, dass er gerade zureicht, die beiden nach innen einander zugekehrten horizontalen Arme zu verbinden. Zuerst bedecke man die Figur mit dünnem Seidenpapier: der zuvor kaum merkliche Contrast erscheint dann, wie oben beschrieben, sehr stark, das graue Kreuz auf schwarzem Grunde sieht beinahe weiß, das auf weißem nahezu schwarz aus. Jetzt schiebe man unter dem Seidenpapier den schmalen grauen Streifen so weit herauf, dass er die einander zugekehrten Kreuzarme verbindet. Nun ereignet sich eine nicht momentan, sondern ganz allmählich erfolgende Aenderung des Eindrucks, indem die Unterschiede der beiden Kreuze völlig oder bis auf ganz schwache Spuren verschwinden. Dieser Versuch gelingt auch dann vollkommen, wenn man, während das Streifchen heraufgeschoben wird, einen Punkt in der Mitte zwischen den Kreuzen fixirt. Von Nachbildwirkungen kann also ebenso wenig wie von Ermüdung die Rede sein, da die beschriebene Ausgleichung niemals bei längerer Betrachtung der Figur von selbst, sondern eben immer nur bei der Heranbringung des ausgleichenden Objectes eintritt. Nach Versuchen, die auf meine Bitte verschiedene Beobachter an dieser Figur vorgenommen haben, muss ich annehmen, dass die Deutlichkeit, mit der die Aufhebung des Contrastes erfolgt, individuell variirt, indem sie bei manchen nur spurweise, bei andern sehr auffallend ist. Solche individuelle Unterschiede können aber doch kaum dazu bestimmen, diese Helmholtz'schen Beobachtungen überhaupt zurückzuweisen. Vielmehr muss ich sie wenigstens bei der Art, wie sich bei mir selbst die Aufhebung des Contrastes vollzieht, als durchaus zwingend anerkennen. Dies vorausgesetzt kann aber der psychologische oder centrale Charakter der Erscheinung schwerlich bezweifelt werden. Freilich wird man sie darum so wenig wie den Contrast selbst als eine »Urtheilstäuschung« im Helmholtz'schen Sinne, sondern eben nur als eine Erscheinung associativer Gegenwirkung betrachten können, durch welche die ursprüngliche Contrasterscheinung compensirt wird.

Elftes Capitel.

Gefühlselemente des Seelenlebens.

1. Methoden der Gefühlsanalyse.

a. Die Eindrucksmethode.

Zwei Methoden stehen zum Zweck der Analyse der Gefühle zu unserer Verfügung: wir nennen sie die Eindrucksmethode und die Ausdrucksmethode[1]. Schon die Doppelheit dieser Methoden ist für die centrale Stellung der Gefühle inmitten des Seelenlebens bezeichnend. Auf der einen Seite ist ihnen die Eindrucksmethode mit den Empfindungen und Vorstellungen gemeinsam, nur dass die experimentelle Analyse der letzteren überhaupt kein anderes Verfahren, als eben die willkürliche Variation der Bewusstseinsinhalte durch äußere Reize, kennt. Bei der Gefühlsanalyse findet diese nun ihre Ergänzung in einer Methode, die umgekehrt in dem Sinne von innen nach außen gerichtet ist, dass sie zu bestimmten, subjectiv wahrgenommenen Gefühlen die physischen Begleiterscheinungen aufsucht, die als mehr oder minder regelmäßige Symptome derselben gelten können. Beide Methoden sind »psychophysisch«, insofern ihre Absicht auf die Analyse psychischer Vorgänge ausgeht, sie aber zur Erreichung dieses Zwecks physischer Hülfsmittel bedürfen: der äußeren Reize die Eindrucksmethode, gewisser körperlicher Symptome die Ausdrucksmethode. Von beiden ist die erste naturgemäß die primäre. Nur sie kann für sich allein schon zu bestimmten Ergebnissen führen, während die Ausdrucksmethode immer die Kenntniss der zugehörigen subjectiven Erscheinungen voraussetzt, deren Analyse der Eindrucksmethode zufällt.

Wenn nun aber auch die Eindrucksmethode kein specifisches Verfahren ist, so weicht doch ihre Anwendung im Gebiet der Gefühle sowie der aus ihnen zusammengesetzten Gemüthsbewegungen insofern wesentlich ab, als hier nicht die directe Wirkung der Reize in Frage steht, sondern die indirecte, selbst erst durch die der Vorstellungsseite des Seelenlebens angehörenden Erscheinungen vermittelte. Man will durch den Reiz zunächst irgend eine Veränderung des Vorstellungsinhaltes hervorbringen, um die Beziehungen, in denen dieser zu gewissen Gefühls-

---

[1] Das Wort »Ausdrucksmethode« ist meines Wissens zuerst von O. KÜLPE gebraucht worden, Grundriss der Psychologie, 1893, S. 293.

vorgängen steht, und damit zugleich die Eigenschaften der letzteren selbst zu ermitteln. Mit dieser indirecten Verwerthung hängt es dann zusammen, dass man schon zum Zweck der Analyse relativ einfacher Gefühle unter Umständen Reize anwenden kann, die von vornherein auf die Erweckung zusammengesetzter Vorstellungsinhalte ausgehen, weil eben auch diese noch mit Gefühlszuständen von einfacher Beschaffenheit verbunden sein können. Mit Rücksicht hierauf werden daher auch die Betrachtungen dieses Capitels schon da und dort über den Umkreis der bisher behandelten einfachen Empfindungen hinausgreifen müssen, da sich eben Empfindungs- und Gefühlselemente nicht in der Weise einander zuordnen lassen, dass beide durchaus parallel gehen. Immerhin werden wir, wo es möglich ist, die Betrachtung auf die mit den einfachen Empfindungen oder mit relativ einfachen Vorstellungen verbundenen Gefühle beschränken. Ganz wird das freilich schon um deswillen nicht geschehen können, weil einerseits bereits bei den einfachsten Gefühlen eigenthümliche Verbindungen zu zusammengesetzten Gefühlszuständen überall hervortreten und auf die Elemente selbst wiederum zurückwirken, und weil anderseits die Gefühlselemente Verbindungen mit den Vorstellungsgebilden eingehen, die für die Bedeutung jener Elemente so wesentlich sind, dass eine Analyse der Gefühle ohne die Berücksichtigung dieser associativen Beziehungen unvollständig bleiben würde. Nun wird natürlich erst eine auf Grund aller dieser Thatsachen vorgenommene theoretische Betrachtung der Gefühlselemente über den Grund dieser ihrer eigenthümlichen Stellung Rechenschaft geben können. Doch erhellt schon aus diesen, bereits bei der ersten Betrachtung sich aufdrängenden Verhältnissen, dass die Einführung des Wortes »Eindrucksmethode« an Stelle der bei der Untersuchung der Empfindungen gebrauchten »Reizmethode« in doppelter Beziehung seinen guten Sinn hat: einmal weil dabei von vornherein an die zwar principiell nicht absolut geforderte, aber doch überaus nützliche und fruchtbare Ergänzung durch die »Ausdrucksmethode« gedacht wird, und sodann, weil der »Reiz« im allgemeinen eine einfachere Art der Einwirkung bezeichnet, während ein »Eindruck« beliebig von einfacher wie zusammengesetzter Beschaffenheit sein kann, und weil überdies der Begriff des Reizes unmittelbar auf die äußere physische Einwirkung hinweist, während der des Eindrucks uns bereits an den psychischen Inhalt denken lässt, der dem äußeren Reiz entspricht.

Natürlich verschwinden nun aber diese lediglich der psychologischen Verwerthung der äußeren Einwirkungen entnommenen Unterschiede bei der experimentellen Anwendung. Hier kann die Eindrucksmethode keine anderen Reize verwenden, als wie sie die Reizmethode bei den Empfindungen auch benützt; und wenn die einzelnen Verfahrungsweisen trotz-

dem meist nicht zusammenfallen, so hat dies nicht sowohl in Verschiedenheiten der Reizeinwirkung, als vielmehr eben in den besonderen psychologischen Zwecken der Untersuchung seinen Grund. Was hierbei die Eindrucksmethode gegenüber der Reizmethode auszeichnet, das ist bei der Analyse der elementaren Gefühlszustände wie bei der der complexeren Gemüthsbewegungen das eigenthümliche Verfahren der subjectiven Vergleichung, dem bereits von vornherein die Reizeinwirkung angepasst sein muss. Diese subjective Vergleichung ist aber deshalb eine andere als bei der Empfindungsanalyse, weil die Empfindungsinhalte des Bewusstseins eben nur als Mittel benutzt werden, um bestimmte Gefühlswirkungen hervorzubringen, worauf die ganze Thätigkeit der Vergleichung diesen letzteren sich zuwendet. Das Verfahren setzt darum hier im allgemeinen größere Reihen von einzelnen Beobachtungen voraus, bei denen jedesmal die Eindrücke und demnach mit ihnen die Empfindungsinhalte planmäßig variirt werden. Mit Rücksicht hierauf zerfällt die Eindrucksmethode in zwei, wesentlich verschiedenen Aufgaben der Gefühlsanalyse zugehörige Verfahrungsweisen: 1) in die Methode der Reizvariation bei constant bleibenden Bedingungen, und 2) in die Methode der Constanterhaltung der Reize bei Variation der begleitenden Bedingungen. Die erstere ist die fundamentalere, und sie lässt eigentlich allein eine regelmäßige und planmäßige Abstufung der experimentellen Einwirkungen zu. Die zweite bleibt aber immerhin eine nicht zu vernachlässigende Ergänzung. Sie schließt insbesondere auch jene Variation der Bedingungen ein, die durch die individuellen Verschiedenheiten der Gefühlsanlage entstehen, und die für die individuelle psychologische Charakteristik zumeist von größerer Bedeutung sind als die analogen Unterschiede im Gebiet der Empfindungsanlagen. Auf diese Weise führt diese zweite Aufgabe unmittelbar in das Gebiet der sogenannten »Individualpsychologie« oder »psychologischen Charakterologie« hinüber.

In diesen beiden Fällen ist nun das Vergleichungsverfahren selbst im wesentlichen ein übereinstimmendes. Am präcisesten kommt es allerdings bei der Reizvariation zur Anwendung, da die Variation der Bedingungen meist allzu sehr von den zufällig der Beobachtung sich darbietenden Constellationen der Umstände abhängt, um immer ein planmäßig methodisches Verfahren verwenden zu können. Dies erhellt deutlich vor allem, wenn die Variation der Bedingungen in den Unterschieden der individuellen Gefühlsdispositionen besteht, die man eben nur da untersuchen kann, wo sie sich finden lassen, indess man bei der näheren Untersuchung der individuellen Eigenschaften doch immer wieder auf die Variation der Eindrücke, also auf die erste Hauptmethode zurückkommt. Diese selbst lässt sich in einer einfacheren und in einer verwickelteren

Form verwenden, die beide ihre erste Ausbildung übrigens nicht bei den einfachsten Gefühlsproblemen, sondern aus Anlass der Untersuchung gewisser »ästhetischer Elementargefühle« erlangt haben, von Gefühlen also, die zwar in dem ästhetischen Gebiet, dem sie zugehören, von einfachster Art, innerhalb des allgemeinen Umkreises der Gefühlsvorgänge aber doch schon von complexer Beschaffenheit sind. Gleichwohl sind die beiden möglichen Verwendungen der Eindrucksmethode, die sich bei diesen speciellen Problemen der experimentalen Aesthetik ergeben, auch für das weitere Gebiet der Gefühle verwendbar, und sie ergänzen sich hier, namentlich bei der Ausdehnung der Untersuchung auf die zusammengesetzten Gemüthsbewegungen, in willkommener Weise. Die eine dieser Methoden besteht in der unmittelbaren Anwendung äußerer Reize zur Hervorrufung bestimmter Gefühle: wir können sie die directe Eindrucksmethode nennen; die andere in der willkürlichen Hervorrufung von Erinnerungsvorstellungen an gefühlerregende Eindrücke: wir wollen sie als die Reproductionsmethode bezeichnen[1]. Für die einfacheren Gefühlsvorgänge ist die directe Methode die vorzugsweise verwendbare; die reproductive kommt hier nur in Verbindung mit der directen, und besonders in solchen Fällen in Betracht, wo sich die Untersuchung auf gewisse associative Nebenbedingungen bezieht. Dagegen ist dieselbe für die Analyse der Affecte ein überaus schätzbares, ja unentbehrliches Hülfsmittel. Die directe Erregung von Freude, Zorn, Kummer u. dergl. in den Versuchspersonen ist uns im allgemeinen versagt; und wo dieselbe je einmal möglich sein sollte, da gestalten sich meist die Bedingungen wenig günstig für die exacte Beobachtung. Um so werthvoller ist es, dass ein psychologisch geübter Beobachter leicht willkürlich reproductiv Affecte jeder Art in sich zu erzeugen vermag, die zwar an Intensität meist hinter den wirklich erlebten zurückstehen, immerhin aber ihnen zureichend ähnlich sind, um als Ersatzmittel dienen zu können. Zugleich bildet in diesem Fall, wie wir sogleich sehen werden, die Ausdrucksmethode ein wichtiges ergänzendes Hülfsmittel, da sie durch die gefundenen unwillkürlichen Symptome eine objective Controle darüber möglich macht, ob überhaupt die reproductiv erzeugten Affecte in zureichender Stärke vorhanden waren.

[1] Von diesen Methoden entspricht die erste derjenigen, die FECHNER in seiner experimentalen Aesthetik als die »Methode der Wahl«, die zweite derjenigen, die er als die »Methode der Herstellung« bezeichnet hat, Namen, die freilich außerhalb des ästhetischen Gebietes nicht mehr wohl anwendbar sind, da namentlich das Moment der »Wahl« durchaus an die hier obwaltenden speciellen Bedingungen geknüpft ist. Eine dritte von FECHNER unterschiedene Methode, die der »Verwendung«, fällt für die allgemeinere Gefühlsuntersuchung von selbst weg. Uebrigens werden wir sehen, dass ihr auch auf dem Gebiet der elementaren Aesthetik sehr erhebliche Bedenken entgegenstehen. Vgl. FECHNER, Zur experimentalen Aesthetik, Abhandl. d. sächs. Ges. d. Wiss. Math.-phys. Cl. Bd. 9, 1871, S. 602 f.

Ein genaueres Vergleichungsverfahren ist nun aber selbstverständlich nur bei der directen Eindrucksmethode möglich, und auch hier muss dasselbe wegen der Schwierigkeit, Gefühle nach Intensität und Qualität genauer vergleichen zu können, hinter den entsprechenden Methoden der Empfindungsanalyse zurückstehen. Doch bietet gerade das Vergleichungsverfahren wenigstens innerhalb der durch den Gegenstand gesteckten Grenzen die Möglichkeit einer gewissen qualitativen Ordnung, und innerhalb dieser wiederum einer annähernden quantitativen Abstufung der Erscheinungen. Principiell ist die Vergleichung hier in einer doppelten Form möglich: in der Form der paarweisen Vergleichung, und in der der reihenweisen Vergleichung. Bei der ersten beschränkt man sich in der einzelnen Versuchsgruppe auf die Vergleichung der Gefühlswirkungen je zweier Eindrücke. Auf Grund einer größeren Anzahl solcher Vergleichungen können dann die entsprechenden Gefühle in gewisse Gattungen geschieden und innerhalb jeder Gattung in gradweise oder intensiv abgestufte Reihen geordnet werden. Bei der zweiten lässt man sofort eine ganze Reihe von Eindrücken auf das Bewusstsein einwirken, um auf Grund der zwischen den sämmtlichen Wirkungen ausgeführten Vergleichungen eine ähnliche Ordnung wie vorhin herzustellen. Da übrigens eine einigermaßen exacte Vergleichung immer nur zwischen je zwei Inhalten möglich ist, ja die Vergleichung größerer Reihen sich eigentlich stets in eine Anzahl solcher, nur unregelmäßiger ausgeführter paarweiser Vergleichungen zerlegt, so ist die Methode der paarweisen Vergleichung entschieden vorzuziehen; höchstens zur ersten Orientirung über ein bestimmtes Gefühlsgebiet kann es nützlich sein, zunächst eine Reihe von Eindrücken einwirken zu lassen, damit man dann die für die engere Vergleichung am besten sich eignenden auswähle. Hierbei erweisen sich nun als günstige Fälle entweder solche, wo die zu vergleichenden subjectiven Zustände einander nahe liegen, oder aber umgekehrt solche, wo sie innerhalb einer zusammengehörigen Gruppe möglichst weit von einander entfernt sind. Das erstere trifft im allgemeinen dann zu, wenn die paarweise Vergleichung die Anordnung bestimmter zusammengehöriger Gefühle in eine Reihe vorbereiten soll; das letztere oder die Methode der Contrastvergleichung ist hauptsächlich dann förderlich, wenn es sich um die scharfe Unterscheidung verschiedener subjectiver Zustände handelt.

b. Die Ausdrucksmethode.

Der Ausdrucksmethode fallen an und für sich alle physischen Symptome zu, durch die sich Gefühle und aus Gefühlen zusammengesetzte Gemüthsbewegungen nach außen kundgeben. Manche dieser Symptome

treten aber in der Regel erst bei einer Häufung der Gefühlswirkungen, wie die Verbindung der Gefühle zu Affecten und Willensvorgängen sie mit sich führt, deutlich hervor. Dies gilt namentlich von den mimischen und pantomimischen Bewegungen, diesen wichtigen Bestandtheilen aller lebhafteren Gemüthsbewegungen. Da sie bei den einfachen Gefühlen nur in spurweisen Andeutungen vorzukommen pflegen, so werden sie hier um so mehr außer Betracht bleiben können, als sie in ihren ausgeprägteren Formen für die später zu erörternden Affecte besonders charakteristisch sind (Abschn. IV). Das Gebiet der Ausdrucksmethode in seiner Anwendung auf die Gefühlselemente des Bewusstseins bleibt daher auf diejenigen physiologischen Symptome eingeschränkt, die zumeist nicht unmittelbar äußerlich sichtbare, dafür aber um so constantere Erscheinungen sind. Es sind das diejenigen Ausdruckssymptome, die in Veränderungen der Innervation der Athmung, des Herzens und der Blutgefäße bestehen. Unter ihnen reichen die Athmungssymptome theilweise in das Gebiet der äußeren Ausdrucksbewegungen hinüber, da sie sich bei gesteigerter Intensität zuweilen schon der unmittelbaren Beobachtung zu erkennen geben. Auch sind sie die einzigen unter diesen Erscheinungen, die dem directen Einfluss des Willens nicht ganz entzogen sind. Immerhin erfolgen sie im normalen Verlauf der Processe ebenso unwillkürlich wie die übrigen. Jedenfalls aber sind sie nur als unwillkürliche Erscheinungen im Zusammenhange mit den andern Hülfsmitteln der Ausdrucksmethode verwerthbar, und es fordert daher dieser Punkt stets besondere Beachtung, um so mehr, da die Athmungsbewegungen unter Umständen die übrigen, vom Blutgefäßsystem herrührenden Erscheinungen, Puls und Gefäßinnervation, stark verändern, so dass dadurch indirect auch solche Einflüsse, die an sich mit den zu untersuchenden Gefühlen gar nichts zu thun haben, die Symptome trüben können.

Die Physiologie hat für die Untersuchung der Mechanik der Athmung und des Kreislaufs die Verfahrungsweisen ausgebildet, die der Psychologie nunmehr für die den gleichen Gebieten angehörende Symptomatik der Gefühle zur Verfügung stehen. Sie bestehen durchweg in Methoden der Selbstregistrirung, bei denen sich auf eine mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegte Fläche die zu untersuchenden Bewegungen mit Hülfe eines geeigneten Systems von Uebertragungen aufzeichnen. Am wenigsten ein treues und vollständiges Bild der wirklichen Bewegungen bieten hierbei die Curven des die Registrirung der Athembewegungen besorgenden Pneumographen, da ein einzelnes Instrument dieser Art nur die Bewegungen einer einzelnen Stelle der Brustwand, und auch diese natürlich nur unvollkommen anzudeuten vermag. Man gewinnt daher auf diese Weise nur einen ungefähren Aufschluss über die größeren Schwankungen

der Intensität und Frequenz der Athembewegungen, nicht über die feineren Unterschiede der Vertheilung derselben an den oberen, thoracalen, und den unteren, abdominalen, den Contractionen des Zwerchfells folgenden Bewegungen. Diesem Uebelstand lässt sich einigermaßen durch die Anwendung zweier Pneumographen abhelfen, von denen der eine an dem oberen, der andere an dem unteren Theil der Brustwand angelegt wird[1]. Ein treueres Bild gewährt im allgemeinen bei geeigneter Beschaffenheit und vorsichtiger Anwendnng des Instruments der in der Regel auf die Arteria radialis aufgesetzte Sphygmograph von den Bewegungen des Arterienpulses. Wiederum nur ein ungefähres Bild der localen Gefäßinnervation gibt dagegen wegen der stattfindenden Summation der Wirkungen der Plethysmograph. Indem nämlich dieses Instrument die Volumschwankungen misst, die ein Körpertheil, z. B. der Arm oder die Hand, erfährt, so enthält die plethysmographische Curve, da jener Volumpuls wesentlich von der wechselnden Blutfülle der Theile abhängt, einerseits ebenfalls die Wirkungen des Arterienpulses, anderseits aber auch diejenigen Volumschwankungen, die durch die Erweiterungen und Verengerungen der Blutgefäße unter dem Einflusse der langsamer wechselnden Gefäßinnervationen eintreten. Daneben können endlich noch die durch die Athmung erzeugten Schwankungen in dem Zu- und Abfluss des Blutes zur Geltung kommen, so dass der Plethysmograph in einem gewissen Grade die Eigenschaften des Sphygmographen und Pneumographen mit den ihm specifisch eigenen Functionen eines Messungshülfsmittels fur die Aenderungen der Gefäßinnervation verbindet. Dies ist in mancher Beziehung ein Vorzug, in anderer, wegen der Complication und der wechselseitigen Ueberdeckung der Symptome, ein Nachtheil. Darum ist es unter allen Umständen nützlich, von diesen Selbstregistrirungen von Athmung, Arterien- und Volumpuls wenigstens zwei, z. B. Pneumo- und Plethysmograph, Pneumo- und Sphygmograph, gleichzeitig anzuwenden.

Bei der Benutzung dieser Methoden für psychologische Zwecke ist nun aber außerdem stets im Auge zu behalten, dass die hier untersuchten Functionen, abgesehen von den Veränderungen, die sie unter dem Einfluss bestimmter Gefühlszustände erfahren, noch unter rein physiologischen Einwirkungen stehen, die ihre symptomatische Verwerthung unsicher machen können. Solcher physiologischer Einflüsse gibt es vornehmlich zwei: erstens kann das Blut vermöge seiner dyspnoischen oder eupnoischen Beschaffenheit erregend oder hemmend direct auf die Innervationscentren der Athmung, der Herz- und Gefäßinnervation einwirken;

[1] MEUMANN und ZONEFF, Philos. Stud. Bd. 18, 1901, S. 7 ff.

und zweitens können diese Functionen selbst Wirkungen auf einander ausüben. So haben TRAUBE und HERING wellenförmige Schwankungen des Blutdrucks, die aller Wahrscheinlichkeit nach auf eine centrale Erregung durch das dyspnoische Blut zurückzuführen sind, bei Thieren beobachtet, Schwankungen, die bei Einleitung der künstlichen Respiration die gleichen Perioden wie die Athmung einhielten[1]. Nun ist nicht ganz ausgeschlossen, dass auch beim Menschen in Folge vorübergehender Athmungsstörungen, also selbst im Verlauf von Gefühlsversuchen ähnliche Wirkungen sich einstellen. Da sie aber beträchtlichere Grade von Dyspnoe voraussetzen, so dürfen sie bei den einfachen Gefühlssymptomen außer Betracht bleiben. Wo sie je einmal vorkommen sollten, da sind sie so sehr von sonstigen Störungen begleitet, dass eine psychologische Verwerthung der beobachteten Erscheinungen ohnehin fraglich ist. Eher können sich andere, wahrscheinlich ebenfalls auf directe Bluterregungen der vasomotorischen Centren zurückzuführende, sehr langsam ansteigende und wieder abschwellende Schwankungen der Volumpulscurve in die psychophysischen Symptome störend einmengen. Dies sind die zuerst von S. MAYER beobachteten und nach ihm die »MAYER'schen Wellen« genannten Schwankungen, die in sehr langen Perioden und unabhängig von der Athmung erfolgen[2]. Wegen dieser Eigenschaften können aber auch sie von den psychophysischen Symptomen leicht unterschieden werden, so dass überhaupt alle diese directen Innervationswirkungen rein physiologischer Art hier ohne Schwierigkeit auszuschließen sind. Die Regelmäßigkeit, mit der eine Gefühlsreaction, ganz unabhängig von solchen physiologischen Schwankungen, und gleichgültig ob diese überhaupt vorhanden sind oder nicht, auf einen bestimmten Gefühlsreiz eintritt, entscheidet in der Regel sofort für den Charakter der Erscheinung als Ausdruckssymptom.

Wesentlich anders verhält es sich mit den Störungen zweiter Art: mit den Wirkungen, welche die verschiedenen Ausdruckserscheinungen auf einander ausüben. Hier steht in erster Linie der Einfluss der Athmung. Stärkere respiratorische Schwankungen ziehen regelmäßig auch die andern Symptome, die Herzbewegung und das Blutvolum der Gefäße, in Mitleidenschaft. Dieser Einfluss ist aber um so beachtenswerther, als die respiratorischen Schwankungen ebensowohl aus rein physiologischen Ursachen, wie durch das directe Eingreifen des Willens, wie endlich selber als Ausdruckssymptome von Gefühlen auftreten können. In den beiden ersten Fällen kommen die Erscheinungen für die psychologische Verwerthung überhaupt nicht in Betracht. Im dritten Fall sind sie zwar als

[1] HERING, Sitzungsber. der Wiener Akademie, Bd. 60 (2), 1870, S. 829.
[2] S. MAYER, ebend. Bd. 74, (3) 1877, S. 281.

respiratorische von Bedeutung; aber es erhebt sich zugleich die Frage, ob die Veränderungen des Arterien- und des Volumpulses bloß Folgewirkungen der respiratorischen Schwankungen, oder ob sie nebenbei auch unabhängig, durch gleichzeitige Erregungs- oder Hemmungsvorgänge innerhalb der Herz- und der vasomotorischen Centren verursacht sind. Diese Frage zu entscheiden kann namentlich bei der Analyse der Affecte außerordentlich schwer fallen, da dieselben ohne respiratorische Veränderungen überhaupt kaum vorkommen. Aber auch bei den einfachen Gefühlen, namentlich bei solchen, die an und für sich schon leicht in Affecte übergehen, ist sie von Schwierigkeiten umgeben; und diese werden dadurch noch gesteigert, dass die respiratorischen Einflüsse auf Blutdruck und Blutbewegung von ganz abweichender Art sein können, je nach Intensität und Rhythmus der Athembewegungen. Sowohl die Inspiration wie die Exspiration führt nämlich schon rein mechanisch Momente der Steigerung wie der Abnahme des Blutdrucks mit sich. Die Inspiration bewirkt z. B. eine Steigerung des Blutdrucks durch die Ansaugung des Blutes nach dem Herzen und durch den die Bauchhöhle entleerenden Druck des Zwerchfells nach unten. Sie bewirkt dagegen eine Abnahme des Blutdrucks durch die Schwächung der Herzcontraction und durch die Stauung des Blutes in den Lungengefäßen. Die Exspiration wirkt nothwendig dort wie hier in entgegengesetztem Sinne. Zu diesen mechanischen Momenten können dann, namentlich bei länger dauernder Athempause, auch noch die oben erwähnten dyspnoischen Erregungen des Athemcentrums hinzutreten. Eine Folge dieser complicirten Wirkungen ist es, dass bei langsamer und tiefer Athmung eine Zunahme des Blutdrucks und demzufolge auch der Volumpulse zumeist auf die Inspirationsphase, dass sie dagegen bei sehr beschleunigter Athmung hauptsächlich auf die Exspirationsphase fällt. Wo diese Athmungssymptome in der einen oder der andern Richtung stark hervortreten, da ist es dann der Natur der Sache nach meist unmöglich zu entscheiden, ob die Blutdrucksymptome ausschließlich Wirkungen der respiratorischen Veränderungen sind, oder ob sie außerdem noch eine selbständige Bedeutung besitzen. In vielen Fällen und namentlich bei den in geringerem Grade zu Affectwirkungen tendirenden Gefühlen können jedoch die Herz- und Gefäßsymptome auch dann deutlich hervortreten, wenn eine respiratorische Verursachung derselben ausgeschlossen ist, weil die Athmung in der gleichen Zeit jenen ruhigen Verlauf genommen hat, bei welchem die respiratorischen Schwankungen im Blutgefäßsystem verschwinden. In allen Fällen bleibt übrigens zu beachten, dass die vasomotorischen wie die respiratorischen Symptome an sich nur Zeichen von Innervationsänderungen in den Athmungs-, Herz- und Gefäßnervencentren sind, dass sie aber an sich weder über die

in der Mechanik der Nervencentren begründeten Ursachen dieser Symptome noch über die weiteren physiologischen Zusammenhänge der betreffenden Innervationen etwas aussagen. Wenn man also z. B. aus der in der Erhebung der plethysmographischen Curve sich ankündenden Steigerung der Blutfülle eines peripheren Organs auf verminderten, aus der umgekehrten Erscheinung auf vermehrten Blutzufluss zum Gehirn zurückschließen wollte, wie dies thatsächlich geschehen ist, so würde das unzulässig sein, weil zur Annahme eines solchen Zusammenhangs der Blutvertheilung durchaus kein Grund vorliegt. Vielmehr haben alle diese Symptome zunächst ihren psychologischen Werth lediglich darin, dass sie objectiv nachweisbare Erscheinungen sind, die, sofern sie bestimmte Gefühlsvorgänge regelmäßig begleiten, in ihren Unterschieden Hinweise auf entsprechende psychische Unterschiede vermuthen lassen. Dabei darf man aber niemals vergessen, dass sie eben nur solche Hinweise, nicht im allergeringsten jemals Beweise sind. Wo die subjective Beobachtung nicht das Vorhandensein eines bestimmten Gefühls unzweideutig erkennen lässt, da kann man natürlich aus einer noch so großen Häufung objectiver Erscheinungen nicht auf dasselbe zurückschließen. Immerhin lehrt die Erfahrung, dass Spuren von Gefühlen der subjectiven Beobachtung entgehen können, so lange nicht durch besondere Motive die Aufmerksamkeit auf sie gelenkt wird. Solche Motive für die Richtung der Selbstbeobachtung sind nun in Wahrheit nicht selten die physiologischen Gefühlssymptome. Darum hat aber auch diese Symptomatik nur dann einen psychologischen Werth, wenn sie sich stets mit der aufmerksamsten Selbstbeobachtung verbindet. Die weitere Frage nach dem realen Zusammenhang dieser Symptome mit den psychischen Erscheinungen, deren äußere Zeichen sie sind, hat dann allerdings ihr selbständiges psychophysisches Interesse. Auf diese Frage wird jedoch erst bei der Erörterung der allgemeinen Natur der Gefühle, bei der auch diese psychophysischen Beziehungen eine Rolle spielen, einzugehen sein.

Die respiratorischen und vasomotorischen Symptome sind die hauptsächlichsten, die bis jetzt der Ausdrucksmethode zu Gebote stehen. Sie sind aber, auch wenn man von den hier der Affectanalyse vorbehaltenen eigentlichen Ausdrucksbewegungen absieht, selbstverständlich nicht die einzigen, sondern neben ihnen lassen sich noch mannigfache physische Reactionen in ähnlichem Sinne benutzen. Nur muss dabei stets die Forderung erfüllt sein, dass entweder überhaupt oder mindestens für die in Betracht gezogene Seite der Erscheinungen willkürliche Einflüsse, die den symptomatischen Werth in Frage stellen, ausgeschlossen sind. Am häufigsten hat unter diesen weiteren Hülfssymptomen die Arbeitsleistung eines einzelnen Bewegungsorgans von möglichst beschränkter Function,

wie z. B. eines einzelnen Fingerglieds, in dem von MOSSO construirten Ergographen Verwendung gefunden. Hier ist zwar die Arbeitsleistung selbst ganz und gar eine willkürliche Handlung. Aber die Art ihrer Ausführung und namentlich die durch sie herbeigeführten Symptome der Ermüdung und Erschöpfung sind unwillkürliche Ergebnisse, die in ihrem Verlauf zwar wiederum zu einem sehr wesentlichen Theil rein physiologisch bedingt sind, daneben aber doch auch von psychischen Momenten, insbesondere von Gefühlszuständen abhängig sein können. Gleichwohl steht der Ergograph als psychophysisches Hülfsmittel in zwei wesentlichen Punkten zurück: erstens sind bei ihm die physiologischen Einflüsse so vorherrschend, dass die psychischen im allgemeinen in die Reihe der Nebenbedingungen gehören; und zweitens ist der Zustand der »Ermüdung«, über den der Gang der Ergographencurven Auskunft ertheilt, selbst nach seiner physiologischen Seite eine so überaus complexe Erscheinung, dass er unter allen Umständen ein vieldeutiges Symptom bleibt und daher über vorübergehende Gefühlszustände überhaupt nicht, über dauernde aber höchstens auf indirectem Wege und unter Zuhülfenahme anderer Symptome Schlüsse zulässt. In der Anwendungsweise das einfachste ist daher der Ergograph in Bezug auf die Verwerthung seiner Ergebnisse das schwierigste und zweifelhafteste der uns für die physiologische Symptomatik der psychischen Zustände zur Verfügung stehenden Instrumente. Mehr versprechen in dieser Beziehung einige zunächst im Interesse der individuellen psychologischen Charakteristik und namentlich für psychiatrische Zwecke angewandte Hülfsmittel, wie E. KRAEPELINS »Schriftwage«, die den Zeit- und Energieverlauf der Bewegungen des Schreibens zu registriren gestattet[1], und R. SOMMERS Methoden zur Untersuchung der centralen Einflüsse auf den Kniesehnen- und den Pupillenreflex[2]. Weiter ausgebildet und auf normale wie pathologische Zustände angewandt, versuchen diese Methoden zusammen mit der ergographischen eine psychophysische Symptomatologie der dauernden Gefühlszustände zu liefern, welche die in den respiratorischen und vasomotorischen Erscheinungen gegebene und vorzugsweise auf vorübergehende Vorgänge gerichtete ergänzt. Ebenso gehört hierher G. STÖRRINGS Methode der directen Untersuchung der Wechselbeziehungen zwischen bestimmten Gefühlszuständen und der Ausführung einer nach ihren physiologischen Bedingungen

---

[1] E. KRAEPELIN, Psychologische Arbeiten, Bd. 1, 1896, S. 20. AD. GROSS, ebend. Bd. 2, 1899, S. 452 ff.

[2] R. SOMMER, Lehrbuch der psychopathologischen Untersuchungsmethoden, 1899, S. 24 ff. Auf einige weitere Methoden SOMMERS wird, da sie mehr dem Gebiet der eigentlichen (mimischen, pantomimischen) Ausdrucksbewegungen angehören, in Abschn. IV zurückzukommen sein.

eindeutigen willkürlichen Bewegung, z. B. der Flexion und Extension des Vorderarms im Ellbogengelenk[1].

Den Gedanken, an die Stelle der zufälligen und planlosen Sammlung von allerlei Erfahrungen über Gefühle eine geregelte, unter Zuhülfenahme zweckmäßig ausgewählter Reize arbeitende Selbstbeobachtung zu setzen, hat wohl zuerst GOETHE in seinen Untersuchungen über die Gefühlswirkungen der Farben zur Anwendung gebracht[2]. Er darf daher mit Fug und Recht der Begründer der »Eindrucksmethode« genannt werden. Das Vergleichungsverfahren liegt freilich seinen Beobachtungen mehr stillschweigend als ausdrücklich zu Grunde. Selbst empfiehlt er hauptsächlich die möglichst reine, andere Eindrücke fernhaltende Einwirkung der Reize, also gleichförmige farbige Umgebung oder Betrachtung einer Landschaft durch farbige Gläser, wo im letzteren Fall allerdings die Association eine bedeutsame mitwirkende Rolle spielen dürfte (vgl. unten 4, c). Weitergebildet wurde dann die Eindrucksmethode hauptsächlich durch FECHNER, der das Verfahren planmäßiger Vergleichung in sie einführte. Dabei waren jedoch seine Methoden im einzelnen durch das specielle Gebiet der durch einfache Raumobjecte erweckten ästhetischen Elementargefühle bestimmt und daher auf andere und namentlich einfachere Gefühlsformen nicht in jeder Beziehung übertragbar[3]. Einer Verbindung der Eindrucks- mit der Ausdrucksmethode haben endlich die neueren Beobachter, wie ALFR. LEHMANN, PAUL MENTZ, E. MEUMANN, M. BRAHN, zugestrebt, wobei sich MENTZ gelegentlich der »reproductiven«, MEUMANN und BRAHN ebenso der »Contrastmethode« bedienten[4]. Ebenfalls unter gelegentlicher Zuhülfenahme der physischen Symptome, namentlich der respiratorischen, hat überdies O. VOGT die Methode der subjectiven Gefühlsanalyse nach einer besonderen Richtung auszubilden gesucht, indem er sie mit dem hypnotischen Experimente verband. Er führte an geeigneten und dazu besonders eingeübten Versuchspersonen durch Suggestion einen Zustand gelinder Hypnose herbei, in dem es gelang, die Individuen zu einer durch die sonstige Einengung des Bewusstseins wesentlich unterstützten Selbstbeobachtung der Gefühle mittelst der vom Hypnotisirenden an sie gerichteten Fragen anzuregen. VOGT ließ dabei in der Regel bestimmte Sinneseindrücke einwirken und suchte dann eine Selbstanalyse der darauf folgenden Gefühle zu gewinnen[5]. Lassen sich alle diese Verfahrungsweisen als Modificationen der experimentellen Methode betrachten, die unter

---

[1] GUST. STÖRRING, Philos. Stud. Bd. 12, 1896, S. 489 ff.

[2] GOETHE, Zur Farbenlehre. Didaktischer Theil, 6. Abth.: »Sinnlich-sittliche Wirkung der Farben«. Werke, Weimarer Ausg., 2. Abth. Bd. 1, S. 307 ff.

[3] FECHNER, Zur experimentalen Aesthetik. Abh. der sächs. Ges. der Wiss. Math.-phys. Cl. Bd. 9, 1871, S. 555 ff. Vorschule der Aesthetik, Bd. 1, 1876, S. 184 ff. Ueber weitere Anwendungen der Vergleichsmethode bei Raumobjecten vgl. WITMER, Philos. Stud. Bd. 9, 1894, S. 122 ff., bei Farbeneindrücken J. COHN, ebend. Bd. 10, 1894, S. 604 ff. D. R. MAJOR, Am. Journ. of Psychology, vol. 7, 1895, p. 57.

[4] MENTZ, Philos. Stud. Bd. 11, 1895, S. 384. MEUMANN und ZONEFF, ebend. Bd. 18, 1901, S. 52. BRAHN, ebend. S. 134.

[5] O. VOGT, Die directe psychologische Experimentalmethode in hypnotischen Bewusstseinszuständen. Zeitschrift für Hypnotismus u. s. w. Bd. 5, 1897, S. 7, 180 ff. Vgl. dazu ebend. Bd. 3, S. 299, und Bd. 4, S. 32, 122 ff., sowie MARCINOWSKI, Selbstbeobachtungen in der Hypnose, ebend. Bd. 9, 1900, S. 5, 177 ff., und ISENBERG und VOGT, ebend. Bd. 10, 1900, S. 131 ff.

günstigen Umständen einander unterstützen können, so kann das nicht in gleicher Weise von der in neuerer Zeit vielfach angewandten und oft mit Unrecht ebenfalls dem Gebiet des Experimentes zugezählten »Fragebogenmethode« gesagt werden. Man versendet Bogen mit einer Anzahl Fragen (z. B. »welche Farben sind Ihnen angenehm, welche unangenehm?«, »denken Sie bei gewissen Farben an bestimmte Klänge, Geschmäcke?« u. s. w.) an eine möglichst große Zahl von Personen, sammelt die Antworten und sucht sie statistisch zu verarbeiten. Dass diese Methode lediglich die Mängel der gewöhnlichen, nicht experimentell controlirten Selbstbeobachtung durch die bei ihr unvermeidlichen Missverständnisse, die unterschiedslose Behandlung guter und schlechter, zuverlässiger und unzuverlässiger Beobachter ins Unberechenbare vergrößert, ist an und für sich einleuchtend. Darum sollte man wenigstens die Anwendung derselben auf solche äußere Fragen beschränken, zu deren Beantwortung überhaupt keine psychologischen Beobachtungen erforderlich sind.

Während sich hiernach die Eindrucksmethode im allgemeinen mit sehr einfachen instrumentellen Hülfsmitteln begnügen kann, welche durch die zur Hervorbringung der Gefühle gewählten Reize an die Hand gegeben werden, bedarf die Ausdrucksmethode eines viel complicirteren Apparates, namentlich wenn sie, was durchaus als Forderung festgehalten werden muss, gegen das unbeabsichtigte Eingreifen der rein physiologischen Einflüsse und Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Functionen gesichert sein soll. Nun ist zwar das zu diesen Zwecken erforderliche Instrumentarium in den von der Physiologie für die Untersuchung von Puls, Athmung u. s. w. ausgebildeten Methoden vollständig gegeben. Dennoch macht die psychologische Verwerthung dieser Methoden gewisse beachtenswerthe Modificationen wünschenswerth. So ist schon der zur Aufzeichnung der respiratorischen, vasomotorischen und eventuell auch anderer Curven, wie der ergographischen, dienende Apparat, das Kymographion, nicht in allen Formen, in denen es in der Physiologie mit Nutzen verwendet werden kann, auch für den vorliegenden Zweck brauchbar. Ein sonst in ähnlichen Fällen mögliches Auskunftsmittel, die Unterbringung des Beobachters in einem von den Instrumenten entfernten Raum, der durch elektrische Leitungen mit den Instrumenten und dem Experimentator in Verbindung steht, ist bei diesen Versuchen, wo man directer mechanischer Verbindungen mit den Registrirvorrichtungen bedarf, nicht wohl anwendbar. Es bedarf daher vor allem eines fast vollkommen geräuschlosen Ganges des Apparates. Die Fig. 212 zeigt ein eigens zu diesem Zweck construirtes Kymographion. Die Geräuschlosigkeit wird theils durch das exacte Ineinandergreifen der Räder des Gewichtsuhrwerks, theils durch den Verschluss des letzteren in einem Gehäuse und endlich dadurch bewirkt, dass man den ganzen Apparat auf eine dicke Filzunterlage stellt. Der über dem Uhrwerk sich bewegende Windflügel sichert die Gleichförmigkeit der Geschwindigkeit, die durch die Stellung des Windfangs, durch eine unten an der Achse der Trommel angebrachte Frictionsrolle sowie endlich auch durch verschiedene Belastung von 10 mm pro Sec. an bis auf 100 mm variirt werden kann. Der Apparat ist daher nicht bloß (bei der Anwendung der geringeren Geschwindigkeiten) zu diesen Versuchen, sondern auch (bei den größeren Geschwindigkeiten) eventuell zu den später (in Abschn. V) zu beschreibenden Messungen der »Reactionszeiten« verwendbar. Ein besonderes Stativ dient zur Aufnahme der Registrirapparate, die mittelst einer Schraube

auf und ab bewegt werden können. Die Fig. 212 zeigt den Apparat mit drei elektromagnetisch beweglichen Schreibhebeln, wie sie zu sonstigen Registrirversuchen dienen. Für die Zwecke der Ausdrucksmethode ersetzt man dieselben durch die unten zu erwähnenden Marey'schen Puls- und Respirationsschreiber. Die Trommel des Kymographions wird vor dem Versuch mit weißem Papier überzogen und dann über einer Gasflamme gleichförmig berußt. Man erhält so alle Curven als weiße Zeichnungen auf schwarzem Grunde, die nach der Beendigung des Versuchs mittelst alkoholischer Mastixlösung fixirt werden können. In vielen Fällen ist es jedoch wünschenswerth, während einer längeren Zeit continuirlich Puls- und Athemwellen aufzunehmen. Dazu reicht dieses einfachere Kymographion wegen des kleinen Durchmessers seiner Trommel nicht mehr aus, sondern es ist zweckmäßig, sich eines andern

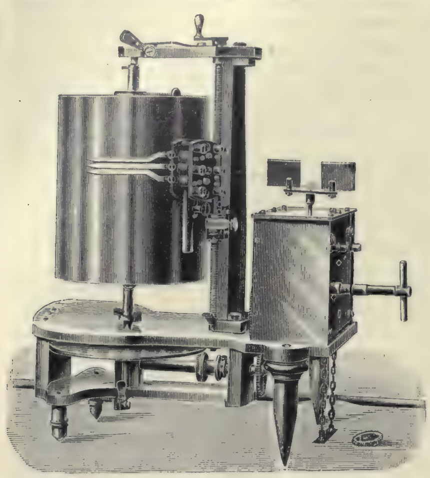


Fig. 212. Geräuschloses Kymographion für psychologische Zwecke.

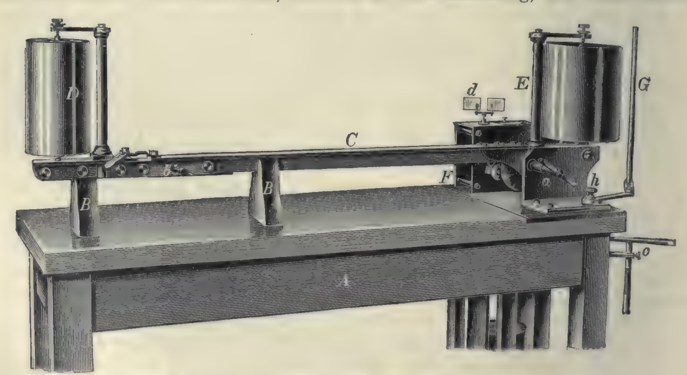


Fig. 213. Epstein'sches Kymographion.

Apparates zu bedienen, der zwar nicht den gleichen Grad der Geräuschlosigkeit möglich macht, aber immerhin noch hinreichend ruhig geht, um den

Beobachter bei einiger Uebung nicht zu stören. Hier leistet das in Fig. 213 abgebildete Epstein'sche Kymographion sehr gute Dienste. Es besteht aus zwei Trommeln *D* und *E*, die 1 m weit von einander entfernt und durch die mittelst der Stützen *B B* dem Tisch *A* aufruhende Stange *C* verbunden sind. Bei *E* befindet sich das Gewichtsuhrwerk *F* mit den seine Geschwindigkeit regulirenden Windflügeln *d*. Das um die Achse *h* drehbare Stativ *G* nimmt die Registrirvorrichtungen auf. Um beide Trommeln *D* und *E* wird eine Papierschleife von gleicher Höhe mit ihnen und von $2^1/_2$ m Länge geschlungen, die man vor dem Versuch an dem Apparate selbst berußt, indem durch Lösung des Schlüssels bei *a* die Stange *C* gehoben und in eine verticale Stellung gebracht werden kann, so dass die Achsen der Trommeln *D* und *E* horizontal liegen. Bei *o* befindet sich dann ein Gasbrenner, der die Papierschleife berußt, wenn man dieselbe durch Drehung der Trommeln rasch über die Flamme hinwegbewegt.

Die verschiedenen Registrirvorrichtungen für Puls und Athmung beim lebenden Menschen sind von dem ältesten dieser Instrumente, von dem der Aufzeichnung des Pulses der Radialarterie dienenden Sphygmographen, ausgegangen. Unter den mannigfaltigen Instrumenten dieser Art verdient für psychologische Zwecke der Marey'sche Transmissionssphygmograph schon um deswillen den Vorzug, weil er sich am unmittelbarsten den hierbei wo möglich stets gleichzeitig anzuwendenden pneumographischen Vorrichtungen anschließt und die einfachste Verbindungsweise mit den oben beschriebenen Kymographien zulässt. Das Instrument (Fig. 214) besteht im wesentlichen

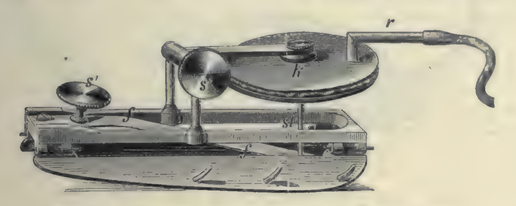


Fig. 214. Transmissionssphygmograph nach Marey.

aus einem in seiner Mitte mit einem Schlitz versehenen Blechdeckel, dessen Wölbung sich der Volarseite des Vorderarms an der Stelle der Radialarterie anschließt. In den Schlitz reicht die Feder *f f*, die an ihrem unteren Ende mit einem kleinen Kissen versehen ist, das direct auf der Arterie aufliegt. Hat man die richtige Lage dieses Kissens gefunden, so wird das ganze Instrument durch Bänder, die an den am Rand hervorstehenden Stiften angebracht sind, am Arm festgeschnürt. Dem Kissen gegenüber befindet sich an der Feder der verticale Stift *st*, der mit seinem oberen Ende mit der Luftkapsel *k*, einem Marey'schen »Tambour«, in Contact steht. Diese Kapsel besteht aus zwei durch einen Kautschukring verbundenen Metallplättchen, von denen das untere in der Mitte eine kleine runde Oeffnung hat, die mit einer Kautschukmembran verschlossen ist, während an dem oberen ein mittelst der Schraube *s* drehbarer und festzustellender Hebel angreift, der zur richtigen Einstellung der Kapsel dient. Ist diese erfolgt, so wird durch die Schraube *s'*

die Spannung der Feder *f f* regulirt. Aus dem Luftraum der Kapsel erhebt sich das Rohr *r*, das in einen Kautschukschlauch übergeht. Dieser ist an seinem andern Ende mit einem ähnlichen »Tambour« verbunden, auf dessen oberer, in der Mitte mit einem Kautschukplättchen verschlossener Platte ein Schreibhebel aufruht, der die Pulscurven direct auf das berußte Papier des Kymographions zeichnet (Fig. 215). Auf dem nämlichen Princip wie der Sphygmograph beruht der zur Registrirung der respiratorischen Bewegungen dienende Pneumograph, der ebenfalls durch MAREY seine auch zu psychologischen Zwecken geeignetste Form gewonnen hat (Fig. 216). Die elastische Stahlplatte *p* wird mittelst der zwei in sie eingelenkten Charnierhebel *a* und *a'* und der Bänder *b b'* um die Brust geschnallt. Ein weiterer auf der Platte *p* aufruhender Charnierhebel verbindet diese mit der Luftkapsel *k*, von welcher

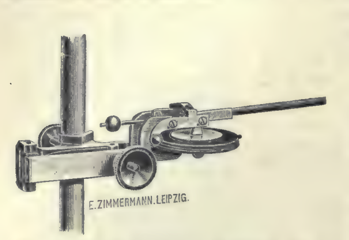


Fig. 215. MAREY'scher Tambour mit Schreibhebel.

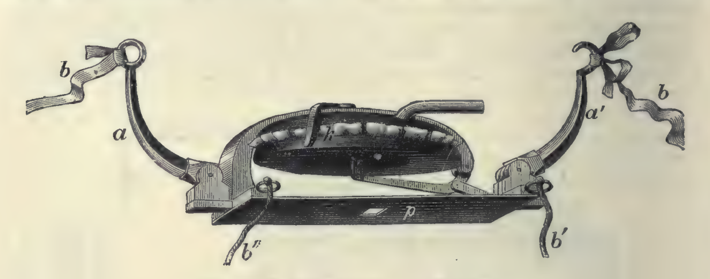


Fig. 216. Pneumograph nach MAREY.

letzteren wieder, ähnlich wie bei dem Sphygmographen, ein in einen Kautschukschlauch übergehendes Rohr zu einem die Registrirung besorgenden MAREY'schen Tambour mit Schreibhebel führt. Bei der Inspiration werden durch die Ausdehnung des Brustraumes die federnden Hebel *a a'* auseinandergedrängt, wodurch sich der gegen die Luftkapsel andrückende Charnierhebel senkt; bei der Exspiration tritt in Folge der Elasticität der Platte *p* die entgegengesetzte Bewegung ein. Demnach entspricht die Inspiration der Senkung, die Exspiration der Erhebung der respiratorischen Curven.

Zur Registrirung der durch den Wechsel der Gefäßinnervation bedingten Schwankungen des Volumpulses dient Mossos Plethysmograph. Als eine für psychologische Zwecke sehr nützliche Form desselben hat sich der LEHMANN'sche Luft-Plethysmograph bewährt (Fig. 217). Das Glasgefäß *G* dient zur Aufnahme einer Hand. Die rechts liegende Oeffnung des Gefäßes ist mit einer Kautschukmanschette versehen, die sich um die hineingesteckte Hand luftdicht anschließt. Die auf einem Schlitz des Tischbretts durch eine

Schraube verstellbare Armstütze *A* dient zur Auflagerung und Fixirung des Arms in der Ellenbogenbeuge. Das Steigrohr *R* geht oben in ein enges Röhrchen und durch dieses in einen Kautschukschlauch über, der wieder in einen MAREY'schen Registrirtambour mündet. Der Hahn *H* führt in eine weitere Röhre, die durch einen Schlauch mit dem Boden eines in gleicher Höhe mit der Röhre *R* an einem Stativ auf und ab zu bewegenden Wassergefäßes verbunden ist. Von diesem Wassergefäß aus wird, nachdem die Hand

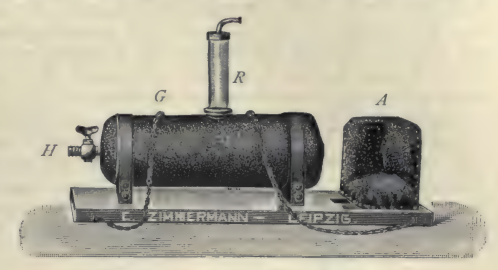


Fig. 217. LEHMANNS Plethysmograph.

eingeführt ist, das Gefäß *G* mit lauwarmem Wasser gefüllt, bis alle Luft ausgetrieben und das Wasser in *R* bis etwa zu mittlerer Höhe gestiegen ist. Dann wird der Hahn *H* geschlossen und das Rohr *R* mit dem Schreibtambour in Verbindung gesetzt. Die so gewonnene plethysmographische Curve zeigt deutlich die Zusammensetzung aus den sich rasch folgenden arteriellen Blutdruckcurven, die im wesentlichen den sphygmographischen Curven gleichen, nur ausgiebiger als diese sind, und aus den langsameren, hauptsächlich durch die wechselnde Contraction und Dilatation der gesammten Gefäßwände bestimmten Volumschwankungen. Bei vorsichtiger, die Beimengung zu großer Eigenschwingungen der Flüssigkeit vermeidender Einstellung ersetzt also der Plethysmograph zugleich den Sphygmographen. Das Instrument verdient in einer Form, in der es sich auf die Registrirung der Volumpulse der Hand beschränkt, und bei der man, wie bei dem Sphygmographen, Luftübertragung verwendet, für psychologische Zwecke wegen der relativen Einfachheit seiner Anwendung und der ziemlich treuen Wiedergabe auch der sphygmographischen Curven entschieden vor dem Hydroplethysmographen MOSSOS den Vorzug. Nicht zu empfehlen ist dagegen in diesem Fall der Versuch, eine weitere Vereinfachung der Methodik dadurch zu erzielen, dass man noch kleinere Extremitätentheile, z. B. einzelne Finger, zur Gewinnung von Volumpulscurven verwendet, wie dies bei dem sinnreich construirten Sphygmomanometer MOSSOS, dem Volumsphygmographen von FRANÇOIS-FRANCK, dem Apparat von HALLION und COMTE u. a. geschieht. Bei diesen Apparaten spielt der veränderliche Turgor der Gewebe eine so überwiegende Rolle, dass darunter die Eigenthümlichkeiten der sphygmographischen Curve verdeckt werden. Bei starker Abkühlung der Finger pflegt diese Curve ganz zu verschwinden[1].

---

[1] Vgl. HALLION et COMTE, Arch. de physiol. 1894, p. 381. Ueber MOSSOS Sphygmomanometer KIESOW, Philos. Stud. Bd. 11, 1895, S. 41 ff. Arch. ital. de biologie, t. 23, 1895, p. 198. Verschiedene Forscher haben trotz dieser Uebelstände die plethysmographischen Vorrichtungen dieser Art, wie es scheint, deshalb bevorzugt, weil sie der Meinung sind, es sei besonders werthvoll, den Zustand der kleinsten Gefäße, den »pouls capillaire« (?), zu untersuchen. BINET et VASCHIDE, Année psychol., t. 3, 1897,

Zur Untersuchung des unter dem Einfluss von Gefühlszuständen oder auch von andern physischen und psychophysischen Bedingungen sich sehr verschieden gestaltenden Verlaufs der Muskelermüdung pflegt man endlich den ebenfalls zuerst von Mosso angegebenen Ergographen anzuwenden (Fig. 218). Das Instrument besteht aus zwei von einander getrennten Theilen, einem auf dem Arbeitstisch festgeschraubten Armbrett, in welchem der Vorderarm zwischen Kissen, und Zeige- und Ringfinger in Messingröhren unverrückbar fixirt werden, so dass allein der Mittelfinger, dessen Arbeit untersucht wird, beweglich bleibt. An dem Mittelglied dieses Fingers ist mittelst einer umschließenden Metallkapsel eine Schnur befestigt, die über eine Rolle läuft und das Belastungsgewicht trägt. Man lässt den Finger gewöhnlich in rhythmischen Pausen seine Contractionen ausführen, deren Umfang nun entweder direct an einem Centimetermaßstab, an dem sich eine Marke der horizontal

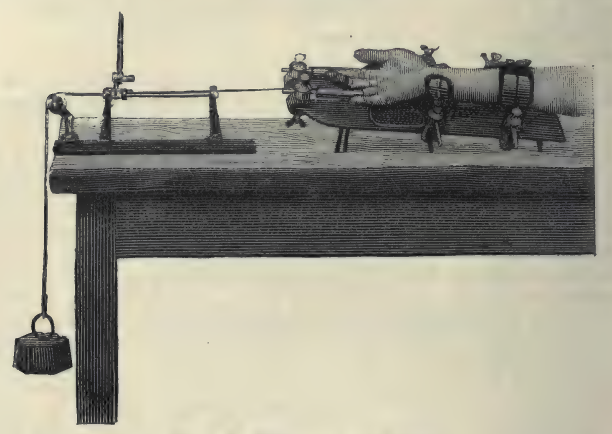


Fig. 218. Ergograph nach Mosso.

ausgespannten Schnur hin und her bewegt, abgelesen wird, oder die man noch besser mittelst des in Fig. 219 besonders abgebildeten Verticalschreibers in verticale Bewegungen umsetzt und auf ein Kymographion aufzeichnen lässt. Die horizontale Schnur dieses Schreibers wird an der Ergographenschnur befestigt, und ihre Bewegungen übertragen sich dann mittelst der beiden Rollen auf einen beweglichen Schlitten, der die schreibende Feder trägt. Gewöhnlich wird der Ergograph in der in Fig. 218 dargestellten Weise zu Versuchen mit Beugung des Fingerglieds verwendet. Doch lässt er sich, wenn man die Gewichtsschnur unter dem Armlager hindurch zu einer am entgegengesetzten

p. 127. J. R. ANGELL and B. THOMPSON, Psychol. Review, vol. 6, p. 32.) Weitere Modificationen des Mosso'schen Plethysmographen rühren von MAREY, A. FICK, HÜRTHLE, KRONECKER her. Vgl. über einige derselben LANGENDORFF, Physiol. Graphik, S. 237 ff.

Ende des Tisches angebrachten Rolle leitet, leicht auch für Streckversuche einrichten[1].

Die Anfänge zur Ausbildung der »Ausdrucksmethode« in der für die Analyse der einfachen Gefühle bedeutsamsten Richtung auf die der äußeren Beobachtung nicht unmittelbar zugänglichen Innervationsänderungen liegen wohl in der Sphygmometrie und in den Bestrebungen, dieses diagnostische Hülfsmittel über den Bereich des Krankenzimmers hinaus, namentlich zur psychopathischen Diagnose zu verwerthen. Hier lag ja die Beziehung zu Gefühls- und Affectformen nahe genug. Dennoch ging der Weg zu einer psychophysischen Verwerthung dieser Untersuchungsmethoden zunächst von einem ganz andern Punkte aus. In einer Reihe von Arbeiten verfolgte ANGELO MOSSO den Plan, über die Schwankungen der Blutfülle des Gehirns dadurch Aufschluss zu gewinnen, dass er einen größeren, für sich isolirbaren Körpertheil, wie den Arm oder das Bein, in einen hermetisch geschlossenen, mit Wasser gefüllten Raum brachte, worauf er dann die Volumschwankungen am Kymographion aufzeichnen ließ. Da das Gehirn zu den Organen gehört, deren Function jedenfalls mit einem besonders energischen Stoffverbrauch verbunden ist, so ging er von der Annahme aus, jede Volumabnahme eines größeren peripheren Körpertheils bedeute eine Zunahme des Blutzuflusses zum Gehirn, und umgekehrt jede Volumzunahme dort ein vermehrtes Ausströmen des Blutes aus dem Gehirn. Er glaubte so ein indirectes Maß für den Stoffverbrauch im Gehirn namentlich bei intellectueller Arbeit, dann aber auch in verschiedenen psychophysischen Zuständen, wie z. B. im Schlaf gegenüber dem wachen Zustand, zu gewinnen. Dieser Gedanke führte ihn zur Construction seines Hydroplethysmographen, bei dem eben deshalb besonderer Werth darauf gelegt war, die wirklichen Volumschwankungen des untersuchten Gliedes zu registriren, und den Umfang des letzteren hinreichend groß zu wählen, um dasselbe gewissermaßen als Vertreter des ganzen übrigen Körpers in seinem Verhältniss zum Schädelraum und seinem Inhalte betrachten zu

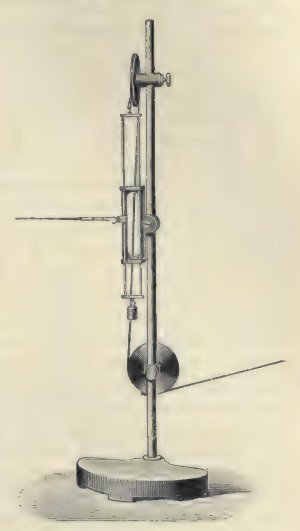


Fig. 219. Verticalschreiber zum Ergographen.

[1] A. MOSSO, Die Ermüdung. Deutsch von J. GLINZER. 1893, S. 85 ff. Ueber Anwendung und Verbesserungen des Apparates vgl. HOCH und KRAEPELIN, KRAEPELINS Psycholog. Arbeiten, Bd. 1, 1896, S. 380 ff. SCHENCK, PFLÜGERS Archiv, Bd. 82, 1900, S. 384. TREVES, ebend. Bd. 88, 1902, S. 7. Eine sehr zweckmäßige Einrichtung, die zugleich als Ersatz für das bei Ergographenversuchen nicht immer zu Gebote stehende Kymographion dienen kann, hat E. MEUMANN in der Anbringung eines vom Mechaniker E. Zimmermann hergestellten Zählwerks eingeführt, das sowohl einzelne Erhebungshöhen wie die nach einer gewissen Zeit vollbrachten Gesammtleistungen abzulesen gestattet.

können[1]. Aber dieser Weg hat sich, obgleich er die Psychologie mit einem ihrer werthvollsten Instrumente beschenkte, doch als ein Irrweg erwiesen, wie Mosso selbst als einer der Ersten erkannt hat[2]. In der That beruht der symptomatische Werth der plethysmographischen Methode auf einem ganz andern Moment als dem, worin man ihn ursprünglich gesehen, und er ist eben darum wohl für die Psychologie ein wesentlich größerer als dieser. Wäre man im stande, die Schwankungen des Blutzuflusses zum Gehirn zu messen, so möchte das ja immerhin von Interesse sein. Aber wenn man, wie das wahrscheinlich ist, dabei erführe, dass das thätige Gehirn mehr Blut consumirt als das unthätige, so würde das doch im Grunde nur eine Bestätigung dessen sein was man vorher schon gewusst hat. Seitdem man die plethysmographische Curve, ebenso wie die sphygmo- und pneumographische, lediglich als ein Symptom bestimmter Innervationsänderungen hat auffassen lernen, ist ihre psychophysische Bedeutung eine wesentlich andere, und zugleich eine wichtigere und vielseitigere geworden. Vermögen wir auch schlechterdings nichts darüber auszusagen, wie die Aenderungen des Volums eines untersuchten Theils mit den Aenderungen der Blutvertheilung im Gehirn oder in irgend einem andern Organ verbunden sind, so sind sie nun um so werthvollere Anzeichen bestimmter centraler Innervationsprocesse, die in ihren mannigfaltigen Formen, insoweit sie eine regelmäßige Beziehung zu bestimmten psychischen Vorgängen oder Zuständen erkennen lassen, zunächst einen rein diagnostischen Werth besitzen, dann aber auch weiterhin auf physiologische Beziehungen der beobachteten Bewusstseinsvorgänge hinweisen, die als solche in das Gebiet der allgemeineren psychophysischen Probleme hinüberreichen. Aus dieser veränderten Verwerthung der plethysmographischen Versuche entspringen dann aber von selbst auch abweichende methodische Gesichtspunkte. Denn nunmehr handelt es sich nicht mehr darum, möglichst vollständigen Aufschluss über die Volumschwankungen des untersuchten Organs zu gewinnen, sondern darum, die graphische Wiedergabe des Volumpulses zu einem möglichst empfindlichen Hülfsmittel für die Nachweisung des Wechsels eben jener Innervationsvorgänge zu gestalten. Hierbei kommt namentlich in Betracht, dass die plethysmographischen Curven, außer über die Schwankungen des Gefäßlumens, die den abwechselnden, im allgemeinen in ziemlich langsamem Tempo erfolgenden Contractionen oder Dilatationen der Arterienwände entsprechen, auch über die von den Herzbewegungen herrührenden rascher erfolgenden Blutdruckschwankungen Auskunft geben. Je vollkommener diese beiden Curven, von denen die schnellere Blutdruckcurve der langsameren und stetigeren Gefäßcurve superponirt ist, die Vorgänge der Herz- und der Gefäßinnervation gleichzeitig und deutlich gesondert wiedergeben, um so mehr ersetzt das Plethysmogramm zugleich das Sphygmogramm, das dann freilich immer noch zur gelegentlichen Controle und genaueren Verfolgung einzelner Pulsformen herbeizuziehen ist. Es bedarf jedoch weiterhin, um einen vollständigen Ueberblick über dieses ganze Functionsgebiet zu gewinnen, schon wegen der oben erwähnten Wechselbeziehungen zwischen den vasomotorischen und respiratorischen Bewegungen der daneben unabhängig aufzunehmenden pneumographischen Curve. Es ist hauptsächlich das Verdienst ALFR. LEHMANNS, von

---

[1] A. Mosso, Ueber den Kreislauf des Blutes im menschlichen Gehirn. 1881.
[2] A. Mosso, Die Temperatur des Gehirns. 1894, S. 135 ff.

diesen veränderten Gesichtspunkten aus zum ersten Male in umfassender Weise die plethysmographische Methode zur Untersuchung der physiologischen Begleiterscheinungen der psychischen Vorgänge, insonderheit der Gefühle und Affecte verwerthet zu haben[1]. Wenn die folgende Erörterung der Ergebnisse der Ausdrucksmethode in vielen Punkten zu Resultaten gelangen wird, die mit den von LEHMANN aus seinen reichhaltigen Beobachtungen gezogenen Schlüssen nicht übereinstimmen, so thut dies selbstverständlich dem Verdienst seiner Forschungen keinen Eintrag. Aber es darf wohl hier auf die zwei Hauptursachen hingewiesen werden, die dieser Differenz der Ergebnisse zu Grunde liegen dürften. Die erste liegt in dem Umstande, dass LEHMANN der respiratorischen Curve noch nicht die Aufmerksamkeit geschenkt hat, die sie schon im Hinblick auf die vasomotorischen Wirkungen der Athmung verdient. Auf diesen Punkt hat besonders E. MEUMANN hingewiesen, der mit Recht hervorhob, dass von allen diesen graphischen Hülfsmitteln eventuell am ehesten das Pneumogramm für sich allein einen diagnostischen Werth besitzen kann, weil die Einflüsse der verschiedenen Innervationen auf einander durchweg von den respiratorischen zu den vasomotorischen Symptomen, kaum aber umgekehrt gerichtet sind[2]. Zweitens steht LEHMANNS Auffassung unter der ausschließlichen Herrschaft der Lust-Unlusttheorie, d. h. jener Ansicht, nach welcher es außer Lust und Unlust überhaupt keine Gefühlsinhalte des Bewusstseins geben soll. Diese zwingt ihn, alle Symptome, die sich nicht unter einen dieser beiden Begriffe bringen lassen, auf irgend welche Momente rein physiologischer oder intellectueller Art zu beziehen. Hält man die von LEHMANN mitgetheilten Curven mit seiner eigenen Schilderung der Bedingungen, unter denen sie gewonnen sind, und der dabei von ihm beobachteten Empfindungen und physiologischen Zustände zusammen, so kann man daher kaum umhin, aus diesen Curven Resultate herauszulesen, die überall über die von LEHMANN selbst abgesteckten Grenzen der Gefühle und Gefühlswirkungen hinausreichen.

Dieselben Gesichtspunkte wie für die Beurtheilung der vasomotorischen und respiratorischen gelten natürlich auch für die Beurtheilung der ergographischen Curven. Nur ist zu beachten, dass hier die Beziehung zwischen psychischen Vorgängen und physischen Begleiterscheinungen eine noch sehr viel verwickeltere und durch mannigfach wechselnde Nebeneinflüsse gestörtere ist. Dies ist um so mehr zu betonen, da die relative Leichtigkeit der Anwendung des Ergographen manchmal über diese Schwierigkeit der Deutung der Resultate hinwegzutäuschen scheint. Wenn z. B. einzelne pädagogisch-psychologische Experimentalarbeiten ganz auf die Voraussetzung gegründet sind, die ergographische Curve sei ein Maß »geistiger Ermüdung«, so ist eine solche Voraussetzung von vornherein im äußersten Maße unwahrscheinlich, um nicht zu sagen unmöglich, wie sich denn auch dieselbe bei sorgfältiger Nachprüfung durchweg nicht bestätigt hat[3].

---

[1] ALFR. LEHMANN, Die Hauptgesetze des menschlichen Gefühlslebens. 1892. Die körperlichen Aeußerungen psychischer Zustände. 1. Theil. 1899. 2. Theil. 1901. Dazu ein Atlas von 58 Tafeln. 1898.

[2] E. MEUMANN, Philos. Stud. Bd. 18, 1901, S. 1 ff.

[3] Vgl. TH. L. BOLTON, KRAEPELINS Psychol. Arbeiten, Bd. 4, 1892, S. 175 ff.

2. Grundformen der Gefühle.

a. Subjective Gefühlsanalyse.

Wenn wir, dem allgemeinen Princip der »Eindrucksmethode« folgend, Reize von verschiedener Qualität und Stärke auf unsere Sinne einwirken lassen, und wenn wir uns dabei zunächst auf diejenigen Sinnesgebiete beschränken, deren Eindrücke schon nach so manchen zufällig sich aufdrängenden Erfahrungen von besonders lebhaften Gefühlsreactionen begleitet sind, auf die Haut- und Gemeinempfindungen, den Geruchs- und Geschmackssinn, so drängen sich vor allem zwei Gefühlsformen unserer Beachtung auf: die Lust und die Unlust, zwischen denen als indifferente Mitte der bei gleichgültigen Eindrücken wahrzunehmende gefühlsfreie Zustand zu liegen scheint. Die behagliche Wärme bei mäßiger Temperaturerhöhung des zuvor abgekühlten Tastorgans, die Erregung der Muskeln bei nicht anstrengender Arbeit, das leise Kitzelgefühl bei gewissen schwachen Hautreizen, endlich eine ganze Reihe von Geruchsreizen, so lange sie nicht zu lang oder zu intensiv einwirken, wie die ätherischen, aromatischen, balsamischen Gerüche, unter den Geschmacksreizen das Süße, erregen in uns Gefühle, die unter sich wieder mannigfach qualitativ differiren mögen, die uns aber dabei doch insoweit verwandt erscheinen, dass wir das Wort Lust als einen für sie alle adäquaten Ausdruck anerkennen. Auf der andern Seite besitzen für uns starke Wärme-, Kälte- und Schmerzempfindungen der Haut, Muskelerregungen bis zu erschöpfender Ermüdung, unangenehme oder ekelerregende Geruchs- oder Geschmacksreize nicht minder einen bei aller Verschiedenheit der einzelnen gemeinsamen Charakter, den wir als einen der Lust entgegengesetzten auffassen und daher mit dem Namen der Unlust belegen.

Keine Frage kann es also sein, dass, wenn wir unsere unmittelbare Erfahrung befragen, Lust und Unlust als zwei deutlich unterscheidbare Gefühlsformen uns entgegentreten. Auch kann es kaum Wunder nehmen, dass eine oberflächliche Betrachtung geneigt ist, bei dieser Unterscheidung stehen zu bleiben. Die Sinnesgebiete, an die wir uns bei der Frage nach der Existenz einfacher Gefühle zunächst zu wenden pflegen, sind eben die oben genannten, bei denen in der That Lust und Unlust eine hervorragende Rolle spielen. Denn naturgemäß pflegen wir bei jener Frage vor allem an diejenigen Inhalte unseres Bewusstseins zu denken, die unser gesammtes sinnliches Befinden bestimmen. Dazu kommt, dass, sobald an die Empfindungen der objectiven Sinne, des Gesichts- und Gehörssinnes, oder aber an zusammengesetztere psychische Vorgänge irgend welche Gefühlselemente geknüpft sind, diese, wenn man sie überhaupt

beachtet, leicht ohne weiteres mit den ästhetischen Gefühlen oder mit den Affecten, Aufmerksamkeitsvorgängen u. dergl. zusammengeworfen werden. Macht man sich jedoch von diesem Vorurtheil frei, sucht man, eine planmäßigere Verwendung der Eindrucksmethode zu Hülfe nehmend, und von der Erwägung ausgehend, dass auch hier die zusammengesetzten Processe in einfachere zerlegbar sein müssen, die subjective Analyse der Gefühle über ein weiteres Beobachtungsgebiet auszudehnen, so drängt sich unweigerlich eine Anzahl seelischer Zustände der Wahrnehmung auf, denen man zwar durchaus den Charakter von Gefühlen zuerkennen muss, die sich aber in die Schablone der Lust und Unlust nimmermehr einzwängen lassen. Freilich darf man dann nicht mehr als Kriterium eines Gefühls, wie es häufig geschehen ist, eben nur dieses anwenden, dass der gegebene Bewusstseinsinhalt auf Lust oder Unlust zurückzuführen sei, sondern jenes allgemeinere, dass wir den Zustand als einen subjectiven, nicht auf Eigenschaften der Objecte, sondern auf ein Verhalten des erlebenden Subjectes selbst bezogenen in dem früher (Bd. 1, S. 350) festgestellten Sinne auffassen. Thun wir dies, so geben nun zunächst die einfachen Licht- und Farbeneindrücke zur Aussonderung von Gefühlselementen Anlass, die wohl häufig in den Bereich der Lust- und Unlustreactionen hinüberspielen, deren Grundcharakter aber doch offenbar ein wesentlich anderer ist. So mag man zugeben, dass dem Gegensatz von Licht und Dunkel, wie wir ihn z. B. beim Uebertritt aus der Tagesbeleuchtung in einen finsteren Raum wahrnehmen, ein gewisses Lustgefühl, das an die Empfindung des Hellen, ein Unlustgefühl, das an die des Dunkeln geknüpft ist, entspricht. Aber bei unbefangener Beobachtung kann man doch nicht umhin einzugestehen, dass dadurch der hier obwaltende wirkliche Gegensatz der Gefühle nicht nur nicht erschöpft wird, sondern dass das wesentlichere Gefühlselement unberücksichtigt geblieben ist. Wir fühlen uns, namentlich wenn ein höherer Grad seelischer Erregbarkeit die Entwicklung der Gefühle begünstigt, im Dunkeln herabgestimmt; und der Uebergang in das Tageslicht macht auf uns einen diesen Druck beseitigenden und zugleich anregenden Eindruck. Noch deutlicher und freier von der Vermischung mit Lust oder Unlust treten uns solche Gefühlswirkungen bei bestimmten reinen Farbeneindrücken entgegen. Wenn ich zuerst ein spektralreines leuchtendes Roth und dann ein ebensolches Blau im Dunkelraum betrachte, so kann ich nicht umhin, beide als im hohen Grad erfreuende, also lusterregende Eindrücke zu charakterisiren. Gleichwohl erwecken beide ganz verschiedene Gefühle in mir, die ich wiederum nur, trotz ihrer besonderen Eigenthümlichkeit, in eine nahe Beziehung zu denen des Hellen und Dunkeln bringen kann. So ergeben sich Gegensätze, die offenbar mannigfach mit

denen der Lust und Unlust sich kreuzen oder eventuell wohl auch ganz frei von denselben sein können, und für die wir wohl am zutreffendsten die Ausdrücke Erregung und Beruhigung oder für die höheren Grade des letzteren Gefühls wohl auch »Gedrücktsein« (Depression) wählen mögen. Sie spielen sichtlich auch bei dem gegensätzlichen Gefühlscharakter der hohen und tiefen Töne oder der scharfen und der weichen Klangfarben eine mitwirkende Rolle; und nicht minder werden wir, wenn wir einmal auf diese Richtungen als selbständige Componenten unseres Gefühlslebens aufmerksam geworden sind, sie in zahlreichen Affecten, wie Freude, Zorn, Aufregung, Kummer, Erwartung, Hoffnung, Furcht, Sorge u. a., als Elemente wiederfinden.

Hat man sich aber erst mit der Erwägung vertraut gemacht, dass die Gefühle überhaupt in der Regel gar nicht als einfache Zustände, sondern in oft vielleicht sehr verwickelten Verbindungen in unserem Seelenleben vorkommen, so kann man sich nun weiterhin der Wahrnehmung nicht entziehen, dass eine Menge seelischer Vorgänge, die wir im gewöhnlichen Leben und demgemäß auch bei einer oberflächlichen psychologischen Beobachtung als »rein intellectuelle« auffassen, in Wirklichkeit immer zugleich von subjectiven Affectionen begleitet sind, die wir diesem ihrem allgemeinen Charakter nach der Gefühlsseite des Seelenlebens zurechnen müssen. Auch sie lassen sich freilich unter das Schema der Lust und Unlust gar nicht oder nur mit ganz unwesentlichen Begleitelementen, eher manchmal unter das der Erregung oder Beruhigung bringen; dabei treten nun aber doch entweder neben den Gefühlen der letzteren Art oder selbst ohne sie wiederum eigenartige Gefühlselemente hervor. Sie sind, wie man sich bei der Variation mannigfacher hierzu geeigneter Eindrücke überzeugt, wohl am reinsten ausgeprägt in den Zuständen mäßig gespannter Aufmerksamkeit oder Erwartung. Zugleich treten sie uns abermals in gegensätzlichen Formen entgegen. Lauscht man z. B. mit mäßig gespannter Aufmerksamkeit den Schlägen eines langsam pendelnden Metronoms, so stellt sich in der Pause von einem Metronomschlag zum andern zunächst in allmählich wachsender Stärke ein Zustand ein, den wir nach dieser geläufigsten Entstehungsursache als den eines Spannungsgefühls bezeichnen können. Sobald dann der erwartete Pendelschlag eintritt, so wird dasselbe von einem entgegengesetzten Gefühl abgelöst: wir wollen es ein Gefühl der Lösung nennen. Beide können allerdings wieder mit Lust- und Unlust- oder auch mit Erregungs- und Beruhigungsgefühlen verbunden sein; aber sie können doch auch ohne eine subjectiv merkbare Beimengung derselben vorkommen. So findet sich namentlich das Lösungsgefühl nicht selten mit Lust verbunden, und das Spannungsgefühl kann mit Unlust,

es kann aber auch mit Erregung combinirt sein oder sogar von einem dieser Gefühle übertäubt werden. Trotzdem würde man, wie ich glaube, der Beobachtung entschieden Gewalt anthun, wenn man diese eigenartigen Gefühle auf die vorigen zurückführen wollte: man würde dabei immer bei einer Menge concreter seelischer Zustände stehen bleiben, bei denen das überhaupt nicht gelänge, oder bei denen mindestens neben den andern Elementen noch ein selbständiges, nicht auf sie reducirbares übrig bliebe. Auf solche Weise führt diese Analyse zugleich zu dem Ergebniss, dass in der Regel Elemente mehrerer Gefühle mit einander in einem concreten seelischen Zustand gemischt sind, so dass die Fälle, wo das nicht zutrifft, Grenzfälle sind, die vielleicht in ganz reiner Form nur sehr selten vorkommen. Denn auch bei jenen Gefühlen des Haut-, Gemein-, Geruchs- und Geschmackssinnes, welche die gewöhnliche Betrachtung samt und sonders zwischen Lust und Unlust zu vertheilen pflegt, wird man nicht umhin können, wenn man erst durch solche Erfahrungen bereichert zu ihnen zurückkehrt, ebenfalls andere Elemente meist als Nebenbestandtheile wahrzunehmen. Wer vermöchte z. B. in dem Geruch des Menthol neben dem Lustelement ein erregendes, in dem Kitzelgefühl ein Element der Spannung, das wohl zuweilen auch in starke Erregung übergehen kann, zu verkennen? So drängt sich überhaupt, je genauer man zu analysiren sucht, um so unabweislicher die Ueberzeugung auf, dass im allgemeinen fast jedes Gefühl ein in mehrere Elemente zerlegbares Gebilde ist.

Trotzdem scheint es nicht zu gelingen, neben den oben unterschiedenen drei Gegensatzpaaren noch andere specifisch abweichende Gefühlselemente, die sich nicht auf irgend eine der erwähnten Grundformen oder auf eine Verbindung derselben zurückführen ließen, aufzufinden. So viel man auch mit der Eindrucksmethode hin und her experimentiren oder die unten zu erörternden Ergebnisse der Ausdrucksmethode zu Hülfe nehmen mag, immer kommt man bei der Analyse der concreten Gefühlszustände oder der zusammengesetzteren Gemüthsbewegungen wieder auf diese zurück. Demnach werden wir vorläufig berechtigt sein, sie als die einzigen *Grundformen der Gefühle* zu betrachten, die sich nachweisen lassen. Das gesammte System der Gefühle lässt sich aber danach als eine *dreidimensionale Mannigfaltigkeit* definiren, bei der jede Dimension je zwei entgegengesetzte Richtungen enthält, die sich ausschließen, während dagegen jede der so entstehenden sechs Grundrichtungen mit Gefühlen der beiden andern Dimensionen zusammen bestehen kann, nur dass selbstverständlich hier wiederum zwei einer und derselben Dimension angehörende entgegengesetzte Richtungen innerhalb eines momentanen Gefühlszustandes sich ausschließen. Hiernach können wir

uns die Mannigfaltigkeit der Gefühle symbolisch durch ein geometrisches Gebilde von der in Fig. 220 dargestellten Form veranschaulichen. Das Lageverhältniss, in das hier die verschiedenen Gefühlsdimensionen zu einander gebracht sind, ist natürlich ein willkürliches. Nicht willkürlich ist aber, dass innerhalb einer jeden Dimension nur ein Fortschritt nach zwei einander entgegengesetzten Richtungen möglich ist, und dass sich sämmtliche Dimensionen in einem einzigen Nullpunkte schneiden. Denn dies wird durch die wohl nicht abzuleugnende Thatsache gefordert, dass völlig gefühlsfreie Zustände zwar wahrscheinlich selten, dass sie aber immerhin möglich sind. Reine Lust-Unlustgefühle würden demnach solche sein, die in die Linie *a b* fallen, wobei diese Linie zugleich den möglichen Uebergang von Lust in Unlust durch allmählich sich vermindernde Grade der ersteren und durch einen zwischen beiden liegenden Indifferenz- oder Nullpunkt zum Ausdruck bringt. Ebenso fallen die andern reinen Gefühlsformen in die als weitere Abscissenlinien des Systems zu betrachtenden Linien *c d* (Erregung-Beruhigung) und *e f* (Spannung-Lösung). In *a n c* kann man sich danach die in Lust und Erregung, in *a n d* die in Lust und Beruhigung zerlegbaren Gefühle angeordnet denken u. s. w., in dem von den Linien *n a*, *n c* und *n e* umgrenzten Raum liegen die Gefühle, die gleichzeitig Lust, Erregung und Spannung enthalten, u. s. w. u. s. w. Auf solche Weise deutet diese symbolische Darstellung zugleich an, dass nicht bloß der dem Punkte *n* entsprechende Indifferenzzustand, sondern dass in gewisser Beziehung theilweise auch die ein- und die zweidimensionalen Gefühle, die z. B. in *a n* oder *a n c* liegen, Grenzfälle bezeichnen, gegenüber dem allgemeinen Verhalten, bei dem ein concretes Gefühl nach drei Richtungen hin bestimmt ist.

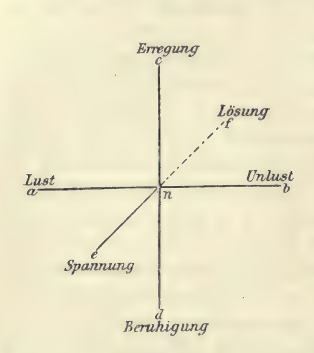


Fig. 220. Die Grundformen der Gefühle als dreidimensionale Mannigfaltigkeit.

Denken wir uns so irgend ein einzelnes Gefühl durch einen einzelnen Punkt des in Fig. 220 dargestellten Continuums repräsentirt, so ist nun aber dabei weiterhin zu erwägen, dass ein solcher Punkt immer nur einen momentanen Gefühlszustand ausdrückt, und dass nie oder höchstens einmal annähernd ein solcher Momentzustand andauert. Vielmehr ordnet sich jedes wirkliche Gefühl in einen Gefühlsverlauf ein, während dessen die einzelnen Gefühlscomponenten theils continuirliche theils plötzliche

Aenderungen erfahren können. Um das Verhalten des Gefühls während eines derartigen Verlaufs symbolisch zu veranschaulichen, kann man die einzelnen Dimensionen des ganzen Gefühlscontinuums von einander sondern, indem man die Veränderungen innerhalb einer jeden in der Form einer eigenen Curve darstellt, bei der nun die Abscissenlinie den Zeiten entspricht, während ein Ansteigen über oder ein Sinken unter dieselbe die entgegengesetzten Gefühlsphasen innerhalb der gleichen Dimension andeutet. Stellen wir demnach durch die Linie *a b* in Fig. 221 die Zeitabscisse zum Verlauf der Lust-Unlust-, durch *c d* die gleiche für die Erregungs-Beruhigungscurve und durch *e f* die für Spannung und Lösung dar, so werden, wenn die parallelen Linien *a b*, *c d*, *e f* einen und denselben Zeitverlauf bedeuten, nunmehr die drei Curven den Gefühlsverlauf während dieser Zeit ausdrücken. In ihnen ist ohne weiteres zu erkennen, ob in irgend einem Moment einer jener Grenzfälle vorkam, in denen entweder Gefühlsruhe herrschte oder bloß eine oder zwei Gefühlscomponenten zu bemerken waren. Ebenso lassen sich die Zeiten der Latenz der einzelnen Componenten in Bezug auf den Zeitpunkt *R* eines den Gefühlsvorgang erweckenden Reizes bestimmen; und wenn man zu irgend einem Zeitpunkte *t* eine Senkrechte durch die drei Curven zieht, so ergeben die drei Ordinaten die Grade der momentanen Componenten. Nun versteht sich von selbst, dass vorläufig und wahrscheinlich für immer eine exacte Ermittelung solcher Curven des Gefühlsverlaufs nicht möglich ist. Wohl aber werden sich wenigstens die allgemeinen Verlaufsformen, namentlich insoweit es sich um die Betheiligung der verschiedenen Gefühlselemente an gewissen zusammengesetzten seelischen Vorgängen, wie Affecten, Willensprocessen, handelt, annähernd durch sorgfältige Beobachtung feststellen lassen.

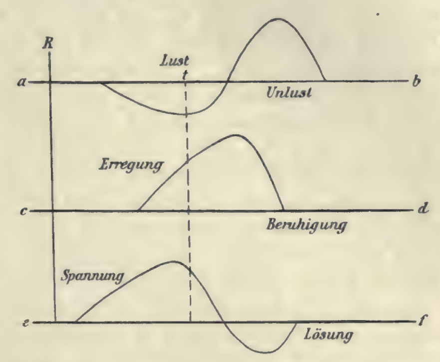


Fig. 221. Symbolische Darstellung eines Gefühlsverlaufs.

Bei dieser Anwendung der Resultate der Gefühlsanalyse auf die Untersuchung der einzelnen Gefühlsvorgänge ist nun aber schließlich außer dem Gesichtspunkt der fortwährenden zeitlichen Veränderungen der

Elemente noch ein weiteres Moment zu beachten. Es besteht darin, dass es sich hier immer nur um Grundformen der Gefühle, nicht um die ganze concrete Mannigfaltigkeit der Gefühle selbst handelt. Diese variirt, wenn wir hier der aufmerksamen Selbstbeobachtung vertrauen dürfen, ebensowohl mit den Empfindungs- und Vorstellungsinhalten des Bewusstseins, zu denen in jedem einzelnen Fall das concrete Gefühl nähere Beziehungen zeigt, wie mit der gesammten Bewusstseinslage. Denn vermöge der letzteren kann ein und derselbe, nach seiner Vorstellungsseite constant bleibende Eindruck in den ihn begleitenden Gefühlsreactionen mannigfach abweichen. Wenn wir z. B. einen aromatischen Geruch, eine Farbe von tiefer Sättigung, einen reinen musikalischen Klang, endlich gewisse Farbencombinationen und musikalische Zusammenklänge verschiedener Art samt und sonders lusterregende Eindrücke nennen, so scheinen dabei doch diese Lustgefühle im einzelnen nicht weniger verschieden nuancirt zu sein, wie etwa die verschiedenen Farbenempfindungen, die wir unter dem Namen Roth zusammenfassen; ja sie sind wahrscheinlich in dem Maße auch nach ihrer Gefühlsseite mannigfaltiger, als ja schon die Empfindungsinhalte, auf die wir diese Gefühle zurückbeziehen, so außerordentlich verschieden sind. Dass wir hier leichter geneigt sind, diese Mannigfaltigkeit der einzelnen Erscheinungen zu übersehen, mag aber theils in der engen Verbindung, in die wir die Gefühle mit den objectiven Bewusstseinsinhalten bringen, theils auch darin seinen Grund haben, dass uns bei diesen subjectiven Seelenzuständen Bezeichnungen der Sprache, die einigermaßen mit den Unterschieden unserer unmittelbaren Erlebnisse gleichen Schritt hielten, im Stiche lassen. Kein praktisches Interesse hat eben in diesem Fall die Ausbildung einer größeren Anzahl unterscheidender Ausdrücke unterstützt. Ist es doch für diese ungünstige Stellung der subjectiven Bewusstseinselemente zu unserer psychologischen Beobachtung charakteristisch genug, dass in WOLFFs Systematik der Seelenvermögen die Gefühle überhaupt noch nicht vorkamen, sondern nur unter dem Allgemeinbegriff des »Begehrens« ein latentes Dasein führten. Als aber endlich die descriptive Psychologie des 18. Jahrhunderts der Lust und Unlust ihre fundamentale Bedeutung angewiesen hatte, so schien es, als sei damit vorläufig dem Bedürfniss der Psychologen Genüge gethan. Auch hier kann eben erst die sorgfältige Analyse der unmittelbaren Erfahrungsinhalte, wie sie an der Hand des vergleichenden Verfahrens der Eindrucksmethode geübt werden muss, bis dahin übersehene Unterschiede mehr und mehr sicherstellen. Angesichts der so ausgeführten Analyse scheint es mir aber in überwiegendem Maße wahrscheinlich, dass die sechs angeführten Grundformen nicht Einzelgefühle, sondern eben nur Grundformen sind, von denen jede einzelne eine sehr große Mannigfaltigkeit

im ganzen verwandter, aber dabei doch von Fall zu Fall nuancirter Einzelgefühle unter sich begreift.

b. Objective Gefühlssymptome.

Das deutlichste Bild von den Innervationsänderungen, welche die einfachen Gefühle im Gebiet der Athmung und Blutbewegung begleiten, bietet die Combination der plethysmographischen mit der respiratorischen Curve, da jene bei zweckmäßiger Einrichtung des Versuchs neben den Eigenwellen der arteriellen Gefäße in vergrößerter Form zugleich ein ziemlich treues Bild des Gangs der den Herzbewegungen correspondirenden arteriellen Blutdruckcurve liefert. Zur Controle und Vervollständigung dieses Bildes ist es dann aber allerdings wünschenswerth, wo es erforderlich scheint, die sphygmographische Curve zur Ergänzung herbeizuziehen.

Durchmustert man nun die auf solche Weise durch planmäßige Combination der Ein- und Ausdrucksmethode gewonnenen Curvenbilder, so drängt sich zunächst ein merkwürdiger Gegensatz auf, in den in gewissem Sinn die Symptome hier mit den Gesichtspunkten treten, denen wir bei der Schilderung der Ergebnisse der Eindrucksmethode gefolgt sind. Schien es bei dieser geboten, die Entwicklung der psychologischen Gefühlslehre gewissermaßen zu recapituliren, indem wir von den längst anerkannten Lust-Unlustformen aus- und dann erst zu den später unterschiedenen und noch mannigfach umstrittenen andern Gefühlsformen übergingen, so drängt sich, wenn wir die Ausdrucksmethode in ihren graphischen Ergebnissen ins Auge fassen, die Ueberzeugung auf, dass die Lust-Unlustreactionen selten nur rein, losgelöst von andern Gefühlswirkungen auftreten, die das Bild in der mannigfaltigsten Weise trüben können. Aehnlich verhalten sich, wie die objectiven Symptome und die subjective Beobachtung schließen lassen, Erregung und Beruhigung. Am häufigsten scheinen dagegen Spannung und Lösung in ihrer reinen, unvermischten Gestalt zur Beobachtung zu kommen. Zugleich scheinen aber gerade diese Gefühlsformen die ständigsten Begleiter unserer sonstigen Bewusstseinszustände zu sein. Aus diesem Grunde ist es wohl zweckmäßig, hier von dieser letzten Gefühlsdimension auszugehen[1].

Das einfachste Mittel, Spannungsgefühle zu erzeugen, besteht in der Einwirkung von Reizen, welche die Aufmerksamkeit in Thätigkeit setzen, ohne irgend eine andere Wirkung, wie Lust, Unlust oder Erregung,

[1] Die folgende Darstellung hauptsächlich nach noch nicht veröffentlichten Versuchen von Herrn Walter Gent im Leipziger psychologischen Laboratorium und, speciell mit Rücksicht auf die Athmungssymptome, nach den Versuchen von Meumann und Zoneff (Philos. Stud. Bd. 18, S. 1 ff.). Wo nichts anderes bemerkt ist, sind die mitgetheilten graphischen Beispiele den Versuchen von Gent entnommen.

auf das Bewusstsein auszuüben. Ein ähnlich geeignetes Mittel ist die Auslösung irgend einer nicht anstrengenden und eben darum wieder keine andern Gefühle in Bewegung setzenden intellectuellen Function: so z. B. das Zusammenzählen von Punkten, die Lösung einfachster Rechenaufgaben u. dergl. mehr. Da Einwirkungen und Vorgänge dieser Art außerordentlich häufig unter den normalen Bedingungen unseres Seelenlebens vorkommen, so begreift es sich, dass es leicht ist, sie künstlich hervorzurufen. Man begreift aber auch, dass sie von psychologischen Beobachtern, selbst von solchen, die sich speciell mit der Symptomatik der Gefühle beschäftigten, oft übersehen worden sind, weil man sie eben von »zufälligen«, d. h. auf bestimmte Ursachen überhaupt nicht zurückzuführenden Schwankungen nicht unterschied. Als die regelmäßigen Symptome einer solchen Spannung beobachtet man nun von Seiten der

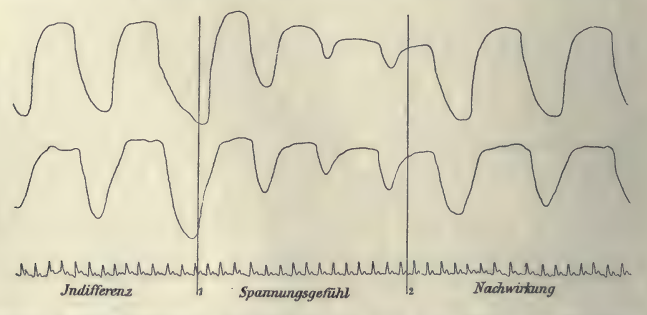


Fig. 222. Respiratorische und Pulsschwankungen unter dem Einfluss der Spannung der Aufmerksamkeit (*1—2* Zählen von Punkten), nach MEUMANN und ZONEFF. Obere Athemcurve thoracal, untere abdominal.

Respiration eine Verflachung der Athemzüge, zuweilen, wenn die Spannung höhere Grade erreicht, während einer kurzen Zeit Stillstand derselben. Diese Veränderungen zeigen sich hauptsächlich an der thoracalen Athmung, während die abdominale weniger verändert, manchmal sogar verstärkt ist (Fig. 222). Von Seiten des Gefäßsystems zeigt sich stets ein Sinken der Volumcurve, Abnahme der Blutdruckpulse und Zunahme ihrer Dauer. Die Fig. 223 zeigt diese Erscheinungen deutlich an einem Fall, wo das Spannungsgefühl in der möglichst einfachen Weise durch eine indifferente Erregung der Aufmerksamkeit mittelst einer leisen Berührung der Versuchsperson ausgelöst wurde. Das Gefühl war in diesem Fall zugleich ein relativ rasch vorübergehendes, wie auch die Wiederzunahme der Pulse am Ende der Curve verräth. Die Hemmung der Respiration erscheint

hierbei als eine den Pulssymptomen zwar coordinirte, nicht aber sie hervorrufende Erscheinung, da diese auch dann sehr ausgeprägt hervortreten können, wo die respiratorische Curve ganz unverändert bleibt. Je nach Umständen kann übrigens das Spannungsgefühl samt diesen seinen stets wiederkehrenden Symptomen ein lang dauerndes Phänomen sein. Kann es doch vorkommen, dass einzelne Beobachter schon durch die Versuchseinrichtungen so in Spannung versetzt werden, dass die Symptome dieses Zustandes während der ganzen Versuchsdauer anhalten, wodurch dann natürlich die Wirkungen anderweitiger Gefühlsreize getrübt werden.

In vollem Gegensatze zur Spannung steht, wie als subjectives Gefühl, so in ihren objectiven Symptomen die Lösung. Sie setzt natürlich eine vorangehende Spannung voraus, so dass ihre Erscheinungen nie ohne diese beobachtet werden, während anderseits länger wie kürzer dauernde Spannungen auch allmählich verschwinden können, indem sie einem in-



Fig. 223. Volumpulscurve bei vorübergehender Spannung: bei *a* Erregung der Aufmerksamkeit durch leise Tastberührung.

differenten Zustande Platz machen, oder indem ein anderes Gefühlssymptom, wie Erregung, Lust, Unlust, sie verdrängt. Die schönsten Beispiele eines reinen Lösungsgefühls mit den begleitenden objectiven Erscheinungen bieten Versuche mit intellectuellen Aufgaben einfachster Art, z. B. einfache Additions- oder Multiplicationsexempel. Nach der Stellung der Aufgabe treten dann regelmäßig nach sehr kurzer Zeit die oben geschilderten Spannungssymptome ein. In dem Moment aber, wo die Aufgabe gelöst ist, manchmal auch schon wenn sich der Beobachter der Lösung nähert, kommt das Lösungsgefühl zum Vorschein: die Athembewegungen werden verstärkt, zuweilen etwas unregelmäßiger, ohne eine constante Veränderung ihrer Frequenz zu bieten; die Volumcurve dagegen steigt sehr erheblich, und die einzelnen Pulse werden stärker und schneller. Die Fig. 224 bietet ein augenfälliges Beispiel dieses Verlaufs. Die Aufgabe,

die dem im Kopfrechnen geübten Beobachter gestellt war, bestand in der Multiplication 93 · 78. Da wo die Curve links beginnt, ist die Rechnung bereits im Gang: die Pulse zeigen also die charakteristischen Eigenschaften der Spannungspulse. Im Momente *b* ist die Lösung der

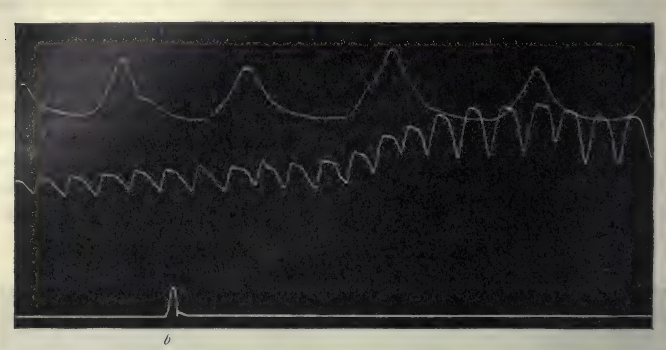


Fig. 224. Athem- und Volumpulscurve bei Spannung und Lösung: Rechenaufgabe (93 . 78), beim Beginn der Curven links die Rechnung im Gang, bei *b* die Aufgabe gelöst.

Aufgabe vollendet: sofort steigen und beschleunigen sich, wie man sieht, die Pulse erheblich. Gleich der Spannungs-, so ist aber auch die Lösungscurve in der Regel keine rasch vorübergehende Erscheinung, sondern sie geht ganz allmählich in die indifferente Puls- und Athmungslage über.

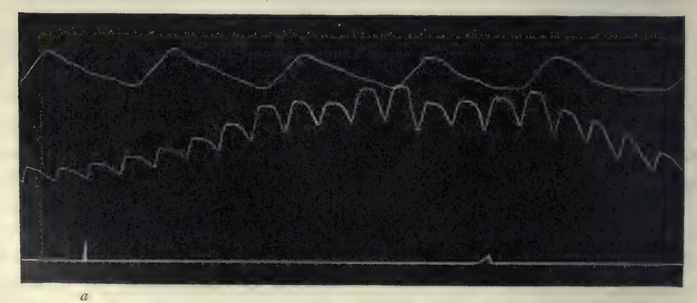


Fig. 225. Athem- und Volumpulscurve: Erregung durch Suggestion.

Schwieriger ist es, die Symptome der Erregung und Beruhigung für sich allein, unvermischt mit andern Erscheinungen zu beobachten. Namentlich findet man häufig, dass sich Spannungs- oder auch Lösungs-

mit Erregungssymptomen combiniren. So z. B. wenn ein Beobachter bei der Lösung einer einfachen intellectuellen Aufgabe in Aufregung geräth, wo dann diese meist noch in das Lösungsstadium hinein andauert. In diesem Fall sieht man unfehlbar schon die Spannungspulse sich verstärken, also ihre charakteristische Eigenschaft zum Theil einbüßen; die Lösungspulse aber gestalten sich darin abweichend, dass namentlich die Pulsdauer größer wird, als sie bei reinen Lösungswirkungen zu sein pflegt. Noch mehr verbindet sich die Beruhigung, sobald sie sich zur Depression steigert, unvermeidlich mit Unlustsymptomen, was sich an der entsprechenden Beschleunigung der Pulse verräth. Verhältnissmäßig am reinsten kann man vielleicht die Erregungs- und Beruhigungssymptome auf suggestivem Wege, durch die willkürliche Erweckung einer geeigneten Gemüthsstimmung erhalten, am besten ohne alle Suggestion von begleitenden Vorstellungen,

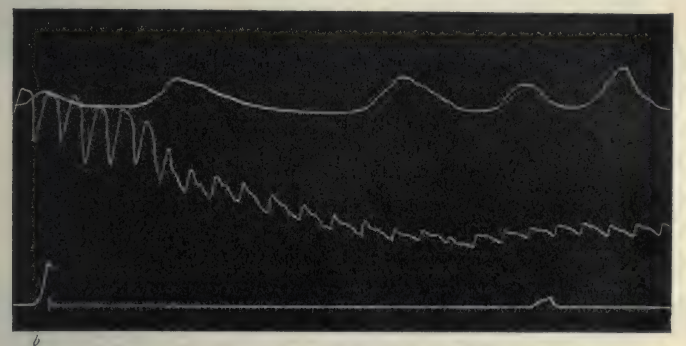


Fig. 226. Athem- und Volumpulscurve: Depression durch Suggestion.

durch die bloße Anweisung, thätig, erregt oder beunruhigt, niedergeschlagen zu sein. Eine Erregungscurve solcher Art ist die Fig. 225. Bei *a* ist die Suggestion erfolgt. Der Puls wird verstärkt, aber weder merklich verkürzt noch verlängert, die thoracale Respiration ebenfalls etwas gesteigert, ohne sonstige Veränderungen. Genau die entgegengesetzten Erscheinungen begleiten das Gefühl der Depression, wie die von dem gleichen Beobachter gewonnenen Curven der Fig. 226 zeigen. Im Moment *b* erging die Aufforderung, sich in einen gedrückten Zustand hineinzufühlen. Fast augenblicklich werden die Pulse erniedrigt und im weiteren Verlauf auch beschleunigt, was aber möglicher Weise mit dem den Depressionszustand begleitenden Unlustgefühl zusammenhängt[1]. Besonders

[1] Dafür, dass sich der der Erregung entgegengesetzte Zustand, so lange er nicht in die unlustbetonten stärkeren Grade der Depression übergeht, zunächst bloß in Abnahme

charakteristische und von den Unlustsymptomen unter allen Umständen wesentlich verschiedene Erscheinungen zeigt aber nach den Untersuchungen von MEUMANN die Athmung: sie ist flach und gehemmt, oft unregelmäßig, was sich namentlich in häufig auftretenden zweigipfeligen Curven, dem gewöhnlichen Symptom dyspnoischer Zustände, ausspricht[1]. Auch die Athemcurve in Fig. 226 zeigt diese Veränderungen.

Die Gefühle der Lust und Unlust sind verhältnissmäßig am reinsten, nur zuweilen modificirt durch die Beimengung erregender oder deprimirender Gefühle und durch das beinahe jeden Sinnesreiz begleitende Spannungsgefühl, bei den chemischen Sinnen, Geruch und Geschmack, in ihren einander parallel gehenden subjectiven und objectiven Symptomen zu beobachten. Dabei sind die Gerüche die geeigneteren für die Lust-, die Geschmäcke für die Unlustwirkung. Doch sind auch Farbeneindrücke

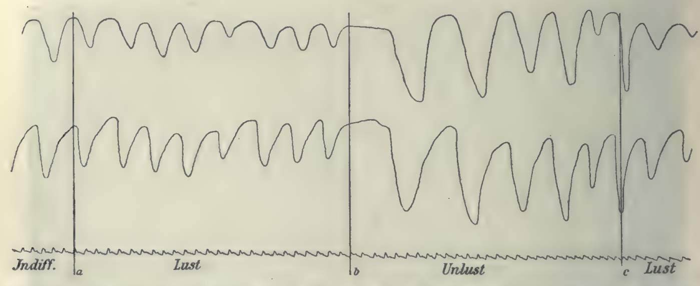


Fig. 227. Athmungs- und Pulscurven bei Lust und Unlust, nach MEUMANN und ZONEFF: *a* Lustreiz (rothe Farbe, Fuchsin), *b* Unlustreiz (grau-violett, Nigrosin), *c* Rückkehr zum Lustreiz. Obere Athmungscurve thoracal, untere abdominal.

von vorwiegendem Lust-Unlustcharakter oder consonante und dissonante Zusammenklänge verwendbar. Die Fig. 227 zeigt zunächst die höchst charakteristischen Respirationssymptome. Bei *a* wirkte eine dem Beobachter wohlgefällige, hierauf sogleich bei *b* eine ihm unangenehme Farbe ein. Bei dem Lustreiz wird die Athmung flacher, besonders in ihren thoracalen Theilen; bei dem Unlustreiz wird sie für einen Augenblick in Exspirationsstellung gehemmt, dann erfolgt eine starke Vertiefung und Verlangsamung, die wiederum mehr die thoracalen als die abdominalen Bewegungen trifft. In dem Augenblick, wo der Lustreiz bei *c* zum zweiten

---

der Pulshöhe verräth, sprechen besonders einige sphygmographische Curven von M. BRAHN, Philos. Stud. Bd. 18, 1901, S. 181. Vgl. z. B. Taf. VIII, Curve VIII und IX (Chloroform, Moschus).

[1] Nach einer vorläufigen Mittheilung Prof. MEUMANNS.

Mal einwirkt, kehren sich die Erscheinungen wieder um. Nicht minder ausgeprägt sind die vasomotorischen Symptome. Die Fig. 228 ist eine Lustcurve, die durch die Einwirkung von Veilchenduft gewonnen wurde: der Reiz beginnt bei *a*. Das Volum steigt etwas an, besonders werden

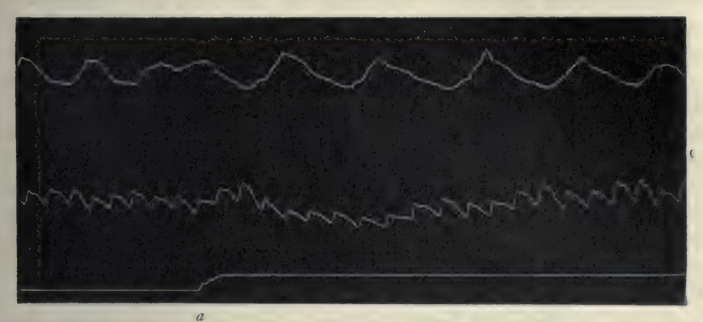


Fig. 228. Athem- und Volumpulscurve bei Lustreizung (Veilchenduft): *a* Beginn der Einwirkung.

die Einzelpulse höher, dabei jedoch, im Gegensatze zu der bei der Lösung beobachteten Beschleunigung, sehr merklich verlangsamt. Zugleich ist die Wirkung eine ziemlich rasch vorübergehende, obgleich

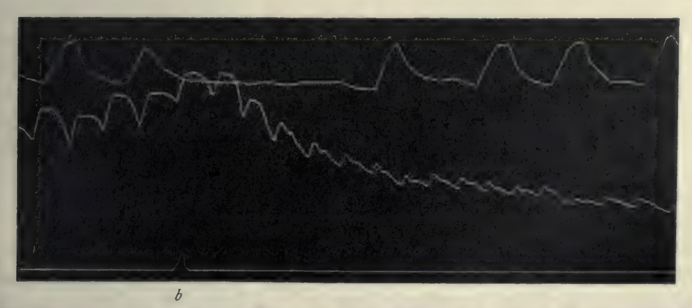
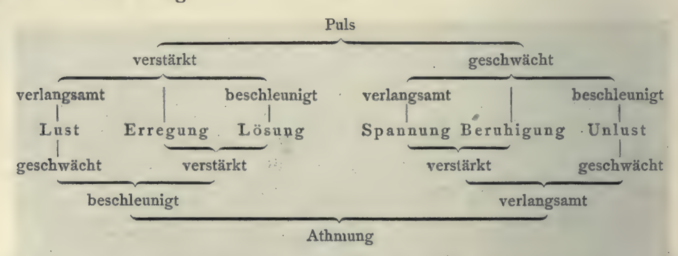


Fig. 229. Athem- und Volumpulscurve bei Unlustreizung (stark bitterer Chiningeschmack): *b* Beginn der Reizes.

der Reiz fortdauernd einwirkt, wie man an dem allmählichen Absinken der Pulse sieht. Die Athmung zeigt auch hier eine geringe Verflachung und Beschleunigung. Ganz entgegengesetzt sind wieder die Symptome der Unlust (Fig. 229). Der bei *b* einwirkende Reiz war eine unangenehm

bitter schmeckende Chininlösung. Zunächst wird fast momentan mit der Einwirkung die Athmung während einer kurzen Zeit sistirt; zugleich steigt, während einer ganz kurzen Zeit, vermuthlich in Folge der Concurrenz einer zunächst sich geltend machenden starken Erregung, die Volumcurve sowie die Höhe der Pulse, dann aber tritt eine sehr starke und lange andauernde Senkung mit bedeutender Erniedrigung und Beschleunigung der Herzbewegungen ein.

Diese Ergebnisse zeigen zunächst klar, dass die physischen Symptome der einfachen Gefühle in dem Sinne den Eigenschaften der Gefühle selbst parallel gehen, als bestimmte Gefühlsgegensätze sich auch durch entgegengesetzte Ausdruckserscheinungen verrathen, und dass zugleich im allgemeinen, sofern es nur gelingt, die einzelnen Gefühle in ihrer reinen, unvermischten Form zu erhalten, jede der oben auf Grund der subjectiven Analyse unterschiedenen sechs Grundformen auch in der eigenthümlichen Combination der Erscheinungen ihr charakteristisches Gepräge besitzt. Letzteres erhellt deutlich, wenn wir diejenigen Ausdruckserscheinungen ins Auge fassen, die eine doppelseitige Veränderlichkeit besitzen: Puls und Athmung, denen gegenüber die langsameren Schwankungen des Blutvolums nur nach den zwei Richtungen der Zu- und Abnahme veränderlich sind, in beiden Beziehungen aber durchweg den Pulshöhen parallel gehen. Das Verhalten von Puls und Athmung lässt sich so für die sechs reinen Gefühlsformen im allgemeinen in das folgende Schema bringen:



Von diesem Schema scheint am häufigsten die Athmung kleine Abweichungen zu bieten, vielleicht weil sie das feinste Reagens auf rasch vorübergehende Modificationen der Gefühle ist. Zugleich sieht man, dass, abgesehen von den jedesmal auch in ihren Symptomen am meisten unterschiedenen gegensätzlichen Gefühlen, unter den übrigen einzelne einander näher stehen als andere. So sind die mit Athmungs- und Pulsverstärkung auf der einen und die mit Hemmung dieser Functionen reagirenden Gefühle auf der andern Seite einander offenbar auch in ihrem subjectiven

Verhalten näher verwandt. Darum verbinden sich wohl Lust und Erregung oder Erregung und Lösung leichter mit einander als etwa Lust und Beruhigung, während sich letztere wiederum in ihren gesteigerten Graden fast immer mit Unlust verbindet. Gerade bei diesen wegen der Uebereinstimmung einzelner Eigenschaften verwandten Symptomen kann dann aber die nähere Betrachtung der Athmungs- und der sphygmographischen Curve wohl noch feinere diagnostische Merkmale liefern. So bieten nach den Beobachtungen von MEUMANN zuweilen die thoracale und die abdominale Athmung, wie oben erwähnt, bemerkenswerthe Unterschiede; auch die Unregelmäßigkeit oder Sistirung der Athmung ist für gewisse Gefühle, wie Spannung, Unlust, dann aber überhaupt für alle sehr starken Gefühle charakteristisch. In den von BRAHN gewonnenen Pulscurven zeigt der Puls bei der Spannung nicht selten eine deutliche Hinneigung zu secundären Elevationen (dem sogenannten Pulsus dicrotus), wobei zugleich die Thäler der einzelnen Pulswellen verschwinden, während sich das entgegengesetzte Bild, die scharfe Abgrenzung der ansteigenden Wellenberge von den verhältnissmäßig lang dauernden Pulspausen, besonders augenfällig als Symptom der Lustcurve darzubieten scheint[1].

Die hier bei möglichster Isolirung der Gefühle geschilderten Symptome können sich nun natürlich erheblich verwickeln, wenn mehrere Gefühlswirkungen sich kreuzen. Namentlich kann es dabei geschehen, dass entgegengesetzte Symptome vollständig dadurch ausgeglichen werden, dass eine außerhalb dieser Gegensätze liegende Wirkung in beiden Fällen in übereinstimmender Weise die Symptome überdeckt. So fanden MEUMANN und ZONEFF, dass bei starken Spannungsgefühlen, wie sie durch energische Anspannung der Aufmerksamkeit hervorgebracht werden, bei Lust eine Beschleunigung, bei Unlust eine Verlangsamung des Pulses eintrat, so dass die sonst so charakteristischen Symptome dieser Gefühle vollständig verschwanden[2]. Man darf wohl in dieser Ausgleichung der Unterschiede durch eine dritte, in der Mitte stehende centrale Einwirkung ein psychophysisches Aequivalent der subjectiv so oft wahrzunehmenden Erscheinung sehen, dass Gefühle durch qualitativ verschiedene bald compensirt bald vollständig verdrängt werden. Auch die ermäßigende Rolle, die bekanntlich die Ablenkung der Aufmerksamkeit besonders auf die Unlustgefühle ausübt, gehört hierher. Denn auch diese Erscheinung tritt nunmehr zunächst unter den Gesichtspunkt der Gefühlscompensation.

---

[1] Auch die Pulscurven bei MEUMANN und ZONEFF scheinen damit im ganzen zu stimmen. Vgl. Philos. Stud. Bd. 18, 1901, Taf. I, Vers. 9. BRAHN, ebend. Taf. VIII, Curve 10, womit zu vgl. die Lustcurve 2, Taf. VII.

[2] MEUMANN und ZONEFF, Philos. Stud. Bd. 18, S. 63.

Völlig anders gestaltet sich dagegen der Einfluss der Aufmerksamkeit, wenn sich diese selbst auf das Gefühl richtet. In diesem Fall bleibt jene ausgleichende Wirkung nicht nur aus, sondern es tritt eine deutliche Verstärkung der jeweiligen Gefühlssymptome hervor, namentlich wenn diese den Richtungen der Lust und Unlust angehören, während sich dagegen jene compensirende Wirkung sofort wieder geltend macht, sobald nicht das Gefühl als subjectiver Zustand, sondern die es begleitende Empfindung zum Gegenstand der Aufmerksamkeit gemacht wird[1]. Die Verdrängung eines Gefühls durch ein anderes, das sonst eine Compensation der Symptome bewirkte, ist demnach hier, bei der Richtung der Aufmerksamkeit auf den Gefühlszustand selbst, in umgekehrter Richtung wirksam: die Spannungsgefühle, die natürlichen Begleiter der Aufmerksamkeitsvorgänge, werden zurückgedrängt, um die durch die Aufmerksamkeit gehobenen Lust- oder Unlustgefühle um so mehr hervortreten zu lassen.

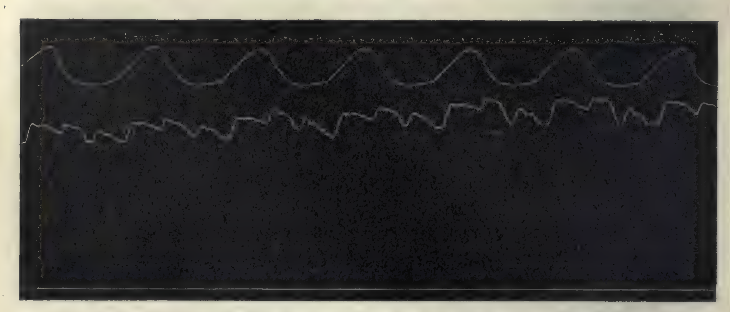


Fig. 230. Athem und Volumpuls in einem Zustand starker Erregung.

Auch diese objectiven Symptome entsprechen ganz den bekannten subjectiven Erfahrungen über die Verstärkung namentlich der Unlustgefühle durch einseitige Versenkung in dieselben.

Die Erscheinungen, die auf solche Weise durch die Wechselwirkungen verschiedener Gefühle entstehen, und die sich hiernach je nach Umständen als Compensationen oder Verstärkungen der Symptome geltend machen, erfahren nun noch weitere Complicationen, sobald durch die Steigerung der Gefühle die Athmung in erhöhte Mitleidenschaft gezogen wird. In diesem Fall kann die Athembewegung von sich aus, sei es in Folge der oben (S. 271) erwähnten rein mechanischen Momente, sei es auch vermöge der Wirkungen, die sie in dyspnoischen, leicht sich mit starken

[1] MEUMANN und ZONEFF, a. a. O. S. 73.

Gefühlserregungen verbindenden Zuständen auf die vasomotorischen Centren ausübt, sehr energisch die Athmungs- und Pulssymptome beeinflussen. Ein Beispiel dieser Art zeigt die Fig. 230. Sie ist in einem Zustande heftiger, zugleich mit Unlustgefühlen verbundener Aufregung aufgenommen, also im wesentlichen als ein Symptomencomplex aus Unlust und Erregung aufzufassen, wobei sich von beiden Componenten bald mehr die eine, bald mehr die andere vorgedrängt haben mag. Die Athmung ist sehr beschleunigt, aber oberflächlich und gleichförmig, wenigstens in ihrem hier allein aufgenommenen thoracalen Theil. Der Puls dagegen ist sehr unregelmäßig, und die Volumcurve steigt und sinkt mit der Athmung derart, dass sie sich etwas nach Beginn der (dem Berg der Athemcurve entsprechenden) Exspiration rasch zu ihrem Maximum erhebt, um dann allmählich zu sinken und kurz nach dem höchsten Stande der Inspiration ihren tiefsten Stand zu erreichen. Es überwiegen also offenbar die den Blutdruck vermindernden Momente bei der Einathmung, die vermehrenden bei der Ausathmung, ein Resultat, welches gewöhnlich die Athembeschleunigung begleitet, so lange die Inspiration nicht ungewöhnlich tief wird (siehe oben S. 271). Da diese Veränderung der Athmung fast regelmäßig die eigentlichen Affecte, namentlich die von erregendem Charakter kennzeichnet, so lässt sich demnach ein Bild von Puls und Athmung, wie das in Fig. 230 gezeichnete, bereits als ein ausgesprochenes Affectsymptom betrachten. Mit diesem Uebergang in den Affect sind aber, neben der so hervortretenden Beeinflussung der Blutbewegung durch die Athmung, noch weitere Complicationen verbunden, die über das hier behandelte Gebiet der einfachen Gefühle hinausreichen, und auf die wir an einer späteren Stelle zurückkommen werden[1].

Unsicherer als die respiratorischen und vasomotorischen sind die in den Arbeitsleistungen der äußeren Skeletmuskeln zu Tage tretenden Gefühlssymptome. Sie können ohnehin nur bei länger dauernden Gefühlszuständen in Betracht kommen, und es handelt sich dabei hauptsächlich um die Frage, ob ein bestimmter Zustand günstig oder ungünstig auf die Muskelarbeit im ganzen oder auf einzelne specielle Formen derselben wirkt. Der zuerst von CH. FÉRÉ auf Grund von Dynamometerversuchen ausgesprochene und überdies ja mit geläufigen Erfahrungen übereinstimmende Satz, dass Lustzustände die Arbeitsleistung vergrößern, Unlustzustände sie vermindern, wird im allgemeinen auch durch die Versuche am Ergographen bestätigt[2]. Die letzteren lehren außerdem, dass besonders auch Spannungszustände den Muskeltonus vergrößern, und dass sich

---

[1] Vgl. die Lehre von den Affecten in Abschn. IV.

[2] CH. FÉRÉ, Sensation et mouvement. 1887.

sowohl Dauercontractionen wie auf einander folgende Gewichtshebungen in solchen Zuständen längere Zeit auf gleicher Höhe halten, während deprimirende Gefühle in entgegengesetztem Sinne wirken[1]. Dieser Gegensatz der tonischen und atonischen Zustände scheint aber weiterhin, wie Versuche von G. STÖRRING lehren, nicht alle Muskelgruppen gleichmäßig zu treffen, indem hauptsächlich die Flexoren des Arms die Tendenz zu ausgiebigeren Bewegungen bei Lustgefühlen und zu verminderter Leistung bei Unlustgefühlen zeigten, während bei der Extension diese Unterschiede nicht zu beobachten waren[2].

Das Verdienst, als einer der Ersten nach einer exacten symptomatischen Unterscheidung der Gefühle und Affecte durch die begleitenden Bewegungen gesucht zu haben, gebührt CHARLES FÉRÉ[3]. Er bediente sich zu diesem Zweck theils der Bewegungsreactionen willkürlicher Muskeln, theils auch der Athmungs- und Pulsbewegungen. Indem er Lust und Erregung, Unlust und Depression als zusammenfallende Zustände betrachtete, gelangte er zu dem allgemeinen Resultat, dass die ersteren verstärkend, die letzteren schwächend auf die körperlichen Functionen einwirkten. Zunächst bestätigte und erweiterte dieses Resultat LEHMANN[4], der zugleich die zeitlichen Verhältnisse der Gefühlserregungen und ihrer physischen Symptome genauer verfolgte und dabei feststellte, dass diese durchweg später als jene eintreten. Zu demselben Ergebniss gelangten BINET und COURTIER[5], die unter den verschiedensten Bedingungen theils während der Erregung von Affecten, theils bei intellectuellen Vorgängen, besonders die vasomotorischen Erscheinungen untersuchten, ohne dabei im übrigen zu sicheren Aufschlüssen zu gelangen, was wohl zumeist in der Complication der bei ihren Versuchen obwaltenden Bedingungen sowie in der ungeeigneten Beschaffenheit der benutzten plethysmographischen Hülfsmittel begründet sein mochte. Gleichzeitig verfolgte MENTZ[6], unter Beschränkung auf akustische Reize, die Puls- und Athmungssymptome, wobei er, neben den Gefühlen und Affecten, namentlich auch den Einfluss der Aufmerksamkeit sowie den der »gefühlsfreien« Empfindungen zu ermitteln suchte. Ein reiches und werthvolles Material von Beobachtungen gewann sodann

---

[1] Nach Mittheilungen von E. MEUMANN.

[2] STÖRRING, Philos. Stud. Bd. 12, 1896, S. 494. Dies Resultat steht zugleich im Widerspruch mit den Angaben MÜNSTERBERGS, nach welchem Lustgefühle mit verstärkter Thätigkeit der Extensoren, Unlustgefühle mit solcher der Flexoren verbunden sein sollten, worauf MÜNSTERBERG die Theorie gründete, beide Gefühlsformen seien mit diesen verschiedenen Muskelempfindungen identisch. (MÜNSTERBERG, Beiträge zur exper. Psychologie, Heft 4, 1892, S. 219 ff.) Die Versuchsanordnung MÜNSTERBERGS war aber überhaupt nicht geeignet, zuverlässige Resultate zu liefern. (Vgl. darüber STÖRRING, a. a. O. S. 488 f.)

[3] CH. FÉRÉ, Sensation et mouvement. Revue philos. t. 20, 1885, p. 337. t. 24, 1887, p. 560. La pathologie des émotions. 1892. Dazu die neueren Arbeiten: Soc. de Biologie, 1900, p. 813, 1083. Année psychologique, t. 7, 1900, p. 82.

[4] LEHMANN, Die Hauptgesetze des menschlichen Gefühlslebens. 1892.

[5] BINET et COURTIER, L'Année psychologique, t. 2, 1895, p. 87. t. 3, 1896, p. 30. BINET et VASCHIDE, ebend. p. 127.

[6] MENTZ, Ueber die Wirkung akustischer Sinnesreize auf Puls und Athmung. Philos. Stud. Bd. 11, 1895, S. 61, 563.

LEHMANN durch seine vorzugsweise mit dem Luftplethysmographen ausgeführten neueren Versuche. Außer den Gefühlen der Lust und Unlust, die er, wie MENTZ, der hergebrachten Auffassung folgend, allein als Gefühle gelten ließ, bezeichnete er jetzt namentlich die »Spannung« als ein überall in die Symptome eingreifendes Moment, das er jedoch nicht als ein Gefühl, sondern, wie es scheint, wesentlich als einen physiologischen Zustand betrachtet, der sich aber besonders auch mit dem psychischen Zustand der Aufmerksamkeit verbinden könne[1]. Dabei gab LEHMANN in seinem Atlas einen so vollständigen Einblick in sein Versuchsmaterial, und in den beigegebenen Beschreibungen bis zu einem gewissen Grade auch in die subjectiven Begleiterscheinungen, dass diese Versuche selbst für denjenigen verwerthbar bleiben, der die Ergebnisse nicht überall vom Standpunkte des Verfassers aus betrachtet. Der obigen Darstellung habe ich demgemäß zum Theil die Bilder des LEHMANN'schen Atlasses unter Zuhülfenahme seiner Angaben über die Reizeinwirkungen neben den hauptsächlich benützten, in der psychologischen Fragestellung wie in der Verwerthung der Ergebnisse von LEHMANN abweichenden neueren Arbeiten zu Grunde gelegt[2]. In der That stimmen die Ergebnisse von MEUMANN und ZONEFF und von W. GENT, obgleich unabhängig gewonnen, durchaus unter einander und auch mit LEHMANNS Versuchen überein. Von ZONEFF selbst sind in seiner Bearbeitung der von ihm gemeinsam mit MEUMANN gemachten Beobachtungen die Spannungsgefühle vorläufig noch unter dem Ausdruck »Aufmerksamkeit« zusammengefasst worden[3]. Da dies kein psychologischer Elementarbegriff ist, der so bezeichnete Zustand aber nie ohne Spannungsgefühle vorkommt, so glaubte ich um so mehr berechtigt zu sein, die hier der »Aufmerksamkeit« zugeschriebenen Symptome ohne weiteres den Spannungsgefühlen zuschreiben zu dürfen, als die sonstige Schilderung durchaus mit den Entstehungsbedingungen der letzteren übereinstimmt. Aus demselben Grund glaube ich auch LEHMANNS Begriff der »Spannung« wenigstens der Hauptsache nach auf Spannungsgefühle beziehen zu dürfen. Gestattet man sich diese Voraussetzung, so zeigen nun die Ergebnisse von LEHMANN, MEUMANN und ZONEFF und die von W. GENT eine überraschende Uebereinstimmung. Man kann hinzufügen, dass dies hinsichtlich der Symptome der Erregung und Beruhigung, der Lust und Unlust auch für die Ergebnisse von MENTZ und M. BRAHN gilt, wobei freilich zu bemerken ist, dass sich MENTZ auf die Messung von Pulslängen, ohne Beilegung graphischer Beispiele, und BRAHN auf die Untersuchung der sphygmographischen Curven beschränkt hat[4]. Können so die beiden Dimensionen der Gefühle

---

[1] LEHMANN, Die körperlichen Aeußerungen psychischer Zustände. 1899 und 1901. Atlas 1898.

[2] In meinen den hier benutzten Versuchen vorausgegangenen »Bemerkungen zur Theorie der Gefühle« (Philos. Stud. Bd. 15, 1899) sind S. 161 f. Beispiele plethysmographischer Curven aus LEHMANNS Atlas für die sechs Grundformen der Gefühle mitgetheilt, die noch heute als zutreffend gelten können. Doch fehlen dabei die nicht minder charakteristischen respiratorischen Schwankungen. (Eine Reproduction dieser Curven, denen zahlreiche andere in LEHMANNS Atlas entsprechen, findet sich auch Völkerpsychologie, Bd. I, I, S. 42 f.)

[3] MEUMANN hat ausdrücklich in einer der ZONEFF'schen Arbeit vorausgeschickten einleitenden Bemerkung die Erörterung der allgemeineren psychologischen Fragen einer künftigen Veröffentlichung vorbehalten (a. a. O. S. 4).

[4] M. BRAHN, Experimentelle Beiträge zur Gefühlslehre. Philos. Stud. Bd. 18, S. 127.

Lust-Unlust und Erregung-Beruhigung als allseitig gesichert gelten, so verhält es sich freilich einigermaßen anders bei der Dimension der Spannungs-Lösungsgefühle. Führen hier auch die andern neueren Versuche, die in ihren graphisch mitgetheilten Ergebnissen einen zureichend vollständigen Ueberblick der gerade hier verhältnissmäßig langsamen Verlaufsform geben, zu einem übereinstimmenden Resultat, so scheint das auf den ersten Blick bei MENTZ und BRAHN anders zu liegen, indem MENTZ bei »unwillkürlicher« und bei »willkürlicher« Aufmerksamkeit entgegengesetzte Symptome beobachtet hat, und BRAHN sogar ausdrücklich als Merkmal der Spannungsgefühle neben der von ihm beobachteten Dikrotie Beschleunigung des Pulses angibt. Nimmt man nun aber an — was nach den sonst diesen beiden Begriffen zukommenden Eigenschaften sehr wahrscheinlich ist — dass MENTZ bei seiner »unwillkürlichen Aufmerksamkeit« einen wesentlich durch Spannungsgefühle, bei seiner »willkürlichen« einen durch Spannungs- und Erregungsgefühle charakterisirten Zustand im Auge hatte, so würde sein Resultat, wenn man sich an die früheren Bemerkungen über die wechselseitige Uebertäubung der Symptome erinnert, mit dem obigen übereinstimmen: seine »unwillkürliche Aufmerksamkeit« würde dann eben dem Zustand relativ rein ausgebildeter Spannungsgefühle entsprechen[1]. Die Resultate BRAHNS endlich sind wohl deshalb in diesem Fall nicht entscheidend, weil sowohl seine Messungen wie die mitgetheilten Curven eine zu kleine Zahl von Pulsen umfassen. Es ist daher nicht unwahrscheinlich, dass sie noch ganz und gar in die Uebergangsperiode fallen, in der sich die Spannung erst vorbereitet[2]. Dazu kommt als ein Zeugniss, das auch diese Autoren unwillkürlich in übereinstimmendem Sinne für die oben geschilderten Symptome der Spannungs- und Lösungsgefühle ablegen, dass nach ihnen jeder indifferente Empfindungsreiz eine Verlangsamung des Pulses zur Folge hat. Nun ist aber ein gleichgültiger Reiz, wenn er unter den Bedingungen solcher Versuche auf die Versuchsperson einwirkt, wohl thatsächlich nie indifferent, sondern er erregt eine geringe Spannung der Aufmerksamkeit; ja er ist vielleicht derjenige Vorgang, der die verhältnissmäßig günstigste Bedingung für die Entstehung reiner Spannungsgefühle mit sich führt[3].

[1] Hinsichtlich der Unterscheidung der »unwillkürlichen« und »willkürlichen« Aufmerksamkeit überhaupt sei hier vorläufig bemerkt, dass sie zu jenen Wortunterscheidungen gehört, die ja in der Psychologie noch immer ihr Dasein fristen, obgleich ihnen absolut nichts Reales zu Grunde liegt. Der Zustand der Aufmerksamkeit ist seinem Wesen nach immer derselbe, wenn auch seine Grade und Verlaufsformen abweichen können. Näheres hierüber in Abschn. V.

[2] Die besonders charakteristische Spannungscurve X (Taf. VIII) zeigt in der That gerade da, wo die welligen Erhebungen des absteigenden Curvenschenkels besonders auffallend hervortreten, eine deutliche Verlängerung der Pulswellen: hier ist aber der Curvenverlauf leider abgebrochen. Aus den von GENT sowie nicht minder aus den von MEUMANN und ZONEFF gewonnenen Curven ersieht man, dass von den Symptomen der Spannungs- und Lösungsgefühle überhaupt erst mittelst einer durch viele Secunden dauernden Beobachtung ein klares Bild zu gewinnen ist.

[3] Allerdings beobachtete BRAHN eine sehr schwache Verlängerung des Pulses auch bei Reizen unter der Reizschwelle. Ich bekenne, dass ich die minimalen Unterschiede, die hier in BRAHNS Curven vorkommen, nicht für entscheidend halte, da die kleinen normalen Schwankungen der Pulscurve, für die man keine Ursache aufzufinden weiß, oft noch beträchtlicher sind.

3. Eigenschaften der einfachen Gefühle.

a. Begriff des einfachen Gefühls.

Als einfache Gefühle werden wir zweckmäßig solche selbständig vorkommende Gefühle bezeichnen, die zwar mit andern Bewusstseinselementen Verbindungen eingehen können, ihrerseits aber sich in einfachere, ebenfalls selbständig vorkommende Gefühle nicht mehr sondern lassen. Dagegen nennen wir ein Gefühl ein zusammengesetztes, wenn es in mehrere Theilgefühle zerlegt werden kann, die uns ebensowohl selbständig wie in andern Verbindungen begegnen können. Auf die Möglichkeit des wirklichen, selbständigen Vorkommens ist demnach bei dem Begriff des einfachen Gefühls das Hauptgewicht zu legen. Wo irgend ein bei der Analyse der Gefühle gewonnener Bestandtheil nicht als wirklich existirendes Gefühl, sondern nur als einzelne Bestimmung eines solchen möglich ist, da handelt es sich nicht mehr um ein Gefühl, sondern um eine Eigenschaft von Gefühlen, ähnlich wie Intensität und Qualität der Empfindung nicht Empfindungen, sondern Eigenschaften jeder Empfindung sind. In der That kommen nun diese beiden Eigenschaften der Intensität und der Qualität, als unlösbar an einander gebundene Bestimmungen aller einfachen psychischen Inhalte, auch jedem Gefühl zu. Aber die einfachen Gefühle besitzen neben diesen, ihnen mit den Empfindungen gemeinsamen Eigenschaften noch andere, eigenartige, die durch die Anordnung aller überhaupt vorkommenden Gefühle in einem einzigen zusammenhängenden Continuum, wie es in Fig. 220 (S. 288) seinen symbolischen Ausdruck gefunden hat, bedingt sind. In diesem Continuum ist im allgemeinen jedes Gefühl nach drei Dimensionen zugleich bestimmt, so dass es nur in gewissen Grenzfällen auf deren zwei oder sogar nur auf eine einzige beschränkt bleibt. Darin liegt ein wesentlicher Unterschied von den Empfindungen, die wegen der Mannigfaltigkeit der Reize, die schon auf das Hautsinnesorgan einwirken, wahrscheinlich niemals ein einziges, zusammenhängendes Ganzes bilden, und die sich dann weiterhin, in Folge der Differenzirung der Sinne, in eine Anzahl disparater Gebiete scheiden, zwischen denen es unserem Bewusstsein an allen Beziehungspunkten mangelt. Die Gefühle dagegen bilden hinsichtlich jener Grundformen wenigstens, deren subjective Eigenschaften und objective Symptome oben erörtert wurden, eine einzige, unabänderlich zusammenhängende Mannigfaltigkeit.

Hierdurch geschieht es nun, dass zu jenen Grundeigenschaften aller psychischen Elemente, der Intensität und der Qualität, bei den Gefühlen noch eine weitere Bestimmung hinzutritt, welche die Einordnung in

das allgemeine Continuum der Gefühle angibt. Jedes Gefühl ist in seiner ihm eigenen, keinem andern zukommenden qualitativen Besonderheit stets zugleich dadurch charakterisirt, dass eben diese Qualität zu den Grundformen der Lust oder Unlust, der Erregung oder Depression, der Spannung oder Lösung gehört, sei es, dass es nur in eine, oder dass es in zwei oder drei dieser Dimensionen hineinreicht. Bezeichnen wir die Qualität und die Intensität als die Grundeigenschaften des Gefühls, so ist demnach die erste dieser Eigenschaften, die Qualität, darin noch näher bestimmt, dass sie sich irgendwie dem nach den drei allgemeinen Grundformen geordneten Continuum der Gefühle einfügt. Zur Unterscheidung von jenen Grundeigenschaften wollen wir diese Bestimmungen des Gefühls nach seinen Hauptrichtungen als die Componenten der Gefühlsqualität bezeichnen, wobei man wohl an eine gewisse Analogie mit der Zerlegung irgend einer wirklichen Bewegung in ihre nach drei Coordinatenrichtungen gehenden Componenten denken darf. In der That sind jene Componenten der Gefühle an und für sich ebenso wenig wirkliche Gefühle, wie diese zum Zweck der Analyse einer Bewegung vorgenommenen Zerlegungen wirkliche Bewegungen sind. Diese Analogie zeigt zugleich deutlich, dass die Zerlegbarkeit der einfachen Gefühle in Componenten eine unmittelbare Folge der Zugehörigkeit aller Gefühlsqualitäten zu einem und demselben Continuum ist, was aber natürlich nicht ausschließt, dass diese qualitativen Componenten indirect auch von der Intensität sowie von der zeitlichen Dauer der Gefühle und endlich selbst von mannigfachen associativen Beziehungen derselben abhängig sein können. Diese Verhältnisse lassen sich, trotz der obwaltenden wesentlichen Verschiedenheiten, einigermaßen durch eine andere, diesmal auf psychologischem Gebiete liegende Analogie verdeutlichen, nämlich durch die mit den mehrdimensionalen Empfindungssystemen, z. B. mit dem der Lichtempfindungen. Jede Lichtempfindung ist bestimmt nach Helligkeit, Farbenton und Farbengrad. (Vgl. oben Cap. X, S. 139.) Diese bilden untrennbare Bestandtheile der Lichtempfindung: sie sind also nicht selbständige Empfindungen, sondern eben nur Factoren oder Componenten, die wir bei der Analyse der Empfindungen gewinnen. Dies schließt aber nicht aus, dass eine concrete Empfindung, wie die reine Helligkeitsempfindung, nur durch eine einzige dieser Componenten bestimmt ist, und dass die Intensität und die zeitliche Dauer auf diese an sich der Empfindungsqualität zugehörenden Elemente verändernd einwirken, wie wir dies an dem Einfluss der Lichtstärke auf Helligkeit und Farbengrad, sowie hinsichtlich der Dauer an den Nachbildwirkungen thatsächlich beobachten.

Natürlich soll dieses Beispiel nur eine verdeutlichende Analogie sein.

Dass dabei sehr wesentliche Verschiedenheiten obwalten, zeigt sich ja namentlich an den bei den Lichtempfindungen wesentlich anders beschaffenen Einflüssen von Reizstärke und Reizdauer, die, wie wir annehmen dürfen, hier in den peripheren Vorgängen der Netzhauterregung begründet sind, während die entsprechenden Einflüsse bei den Gefühlen centraler psychophysischer Art sind. In dem Einen aber ist die Analogie jedenfalls zutreffend, dass in dem einzelnen Gefühl jene Bestimmungen, die wir als Lust oder Unlust, Erregung oder Beruhigung, Spannung oder Lösung bezeichnen, nicht selbständige Gefühle sind, in die sich jenes zerlegen ließe, sondern dass sie eben in demselben Sinne, wie die Componenten oder Factoren der Qualität bei der Lichtempfindung, Erzeugnisse einer Analyse sind, zu der uns freilich die Erscheinungen selbst nöthigen. Dabei können sich dann innerhalb eines Gefühlsverlaufs oder bei dem wechselnden Vorkommen eines im übrigen übereinstimmenden Gefühls die Verhältnisse dieser Componenten fortwährend verändern. In dem wirklichen Gefühl bleiben sie aber immer an einander gebunden, so dass sie in diesem Sinne eine selbständige Existenz nicht besitzen. Hieran darf uns auch der Umstand nicht irre machen, dass neben irgend einem concreten Gefühl, welches drei oder zwei Componenten enthält, andere, im übrigen verwandte vorkommen mögen, die nur eine einzige enthalten. Hier wie dort bleibt das einzelne Gefühl eben ein specifischer Inhalt unseres Bewusstseins, wie denn auch die besondere Lust-, Erregungs-, Spannungsqualität u. s. w. durch diese Ausdrücke nur nach ihrer allgemeinen Richtung, nicht in ihrer besonderen Beschaffenheit definirt wird. In dieser Beziehung hängt die bei der Gefühlsanalyse sich ergebende Nothwendigkeit, die angegebenen Eigenschaften als Componenten oder Factoren der concreten Gefühle, nicht selbst als concrete Gefühle zu betrachten, in die jene thatsächlich zerlegt werden könnten, auf das engste mit der in der unmittelbaren Beobachtung zu constatirenden Eigenschaft der Gefühlsrichtungen zusammen, dass sie Grundformen sind, deren jede eine Fülle von Gefühlselementen in sich schließt, nicht aber selbst concrete Einzelgefühle, die in jedem einzelnen Fall, wo wir die für sie geschaffenen Namen gebrauchen, in unveränderter Qualität wiederkehren.

Leicht bestätigen sich uns diese Verhältnisse, wenn wir aufmerksam und unbefangen an der Hand der Eindrucksmethode die auf verschiedene Reize eintretenden Gefühlsreactionen beobachten. Ein gesättigtes spektrales Roth im Dunkelraum erweckt mir ein Gefühl, das ich in die Componenten der Lust und der Erregung zerlegen kann. Aber diese besitzen hier erstens ihre specifische, dem Eindruck mit keinem andern gemeinsame Nuance, und sie sind zweitens in ihrer Vereinigung bei diesem concreten Eindruck nicht von einander zu scheiden. Oder das Gefühl,

das die süße Geschmacksempfindung begleitet, enthält, so viel ich finden kann, nur ein einfaches Lustgefühl; das Gefühl beim Geruch des Menthol enthält die zwei Componenten der Lust und der Erregung. Weder kann ich aber diese wieder in dem specifischen Gefühl von einander sondern, noch ist in meiner unmittelbaren Auffassung das Lustgefühl des Menthol mit dem des Zucker identisch. Beide sind in ihrer Richtung verwandt, was ich eben damit ausdrücke, dass ich sie als Lustgefühle bezeichne; aber gleich sind sie nicht im geringsten. Je mehr man sich in solchen Beobachtungen übt, um so sicherer wird man in der Analyse der concreten Gefühle; und um so mehr wird man doch auch vor der Gefahr bewahrt, die Producte einer solchen Analyse für unmittelbare Wirklichkeiten zu halten, während es der gewöhnliche Fehler vulgärer Reflexionspsychologie ist, dass sie selbst da, wo sie nicht eigene intellectuelle Ueberlegungen in ihre Gegenstände projicirt, auf der einen Seite die complexen Erscheinungen unzulänglich analysirt, und auf der andern da, wo sie einmal eine Analyse ausführt, unbesehen die Producte dieser Analyse für selbständige Wirklichkeiten ansieht.

Besteht zwischen den einfachen Gefühlen und den einfachen Empfindungen bei aller Verschiedenheit der Eigenschaften und demnach auch der Componenten, in die sie eventuell zerlegbar sind, doch in dieser Analysirbarkeit des in der Erfahrung einheitlich Gegebenen nach verschiedenen Richtungen hin eine innere Verwandtschaft, so ist nun weiterhin eine solche auch darin zu finden, dass das einfache Gefühl schließlich ebenso wenig wie die Empfindung jemals für sich allein, unvermischt mit andern Gefühlen oder Empfindungen, und darunter meist auch mit Elementen gleicher Art, in unserem Bewusstsein vorkommt. In diesem Sinne ist daher das einfache Gefühl selbst wieder Gegenstand einer Abstraction, aber doch einer Abstraction von einer wesentlich andern Art, als sie bei der Analyse der Eigenschaften oder der Componenten einer Empfindung oder eines Gefühls obwaltet. Ein einzelner Ton, eine einzelne Farbe können sich zwar in der mannigfaltigsten Weise mit andern Empfindungen verbinden und sich in Folge dessen als intensive oder extensive Verbindungen darbieten. Indem sie aber in jedem Augenblick aus den concreten Verbindungen aus- und in andere eintreten können, bewähren sie eben in diesem Wechsel der Erscheinungen ihre relative Selbständigkeit als wirkliche Einzelinhalte des Bewusstseins. Genau so verhält es sich mit den einfachen Gefühlen. Nur verräth sich hierbei die Eigenart des Gefühlslebens wiederum darin, dass, wie die Einzelgefühle nach ihren Hauptrichtungen eine einzige zusammenhängende Mannigfaltigkeit bilden, so auch die Verbindungen der einfachen Gefühle zu zusammengesetzten überall wieder auf die Erzeugung einheitlicher

Gebilde ausgehen, die in einem gegebenen Moment den gesammten Gefühlsinhalt des Bewusstseins zu einem einzigen Totalgefühl zu vereinigen streben.

Hierin macht sich ein Princip der Verbindung der Elemente geltend, welches der Thatsache der Zerlegbarkeit in Componenten, die einer einzigen zusammenhängenden Mannigfaltigkeit angehören, als das correspondirende synthetische Princip gegenübersteht. Die ganze Bedeutung dieses Princips wird sich selbstverständlich erst bei der Betrachtung der aus einfachen Gefühlen zusammengesetzten Gemüthsbewegungen übersehen lassen. Immerhin können wegen der in demselben zum Ausdruck kommenden wesentlichen Eigenthümlichkeiten des Gefühlslebens diese Verbindungserscheinungen hier nicht ganz übergangen werden. Der allgemeine Charakter derselben soll daher, nachdem hierzu durch die Analyse der einfachen Gefühle die Grundlage gewonnen ist, an den relativ einfachsten Gefühlsverbindungen erläutert werden. Zu ihnen gehören jene Gefühlsresultanten, die man, als das Ergebniss der gesammten auf die Zustände des eigenen Körpers und seiner Organe bezogenen Gefühle, mit dem Namen des »Gemeingefühls« zu bezeichnen pflegt. Die hier voranzustellende Analyse der einfachen Gefühle hat aber zunächst die zwei Eigenschaften der Gefühle zu sondern, die sie mit den andern psychischen Elementen, den Empfindungen, gemein haben: die Intensität und die Qualität. Neben ihnen ist dann, als ein für die Eigenschaften der Gefühle besonders bedeutsames Moment, noch der zeitliche Verlauf in Betracht zu ziehen, von dem bei der Empfindung vorläufig im allgemeinen abstrahirt werden konnte.

b. Intensitätsänderungen der Gefühle.

Von dem »Auf- und Abwogen der Gefühle« pflegt man schon auf Grund der alltäglichen Erfahrungen mit Vorliebe zu reden. In der Weise, in der man diese bildlichen Bezeichnungen, mehr als auf andere psychische Inhalte, gerade auf die Gefühle anwendet, spricht sich aber zweifellos die psychologische Beobachtung aus, dass im Gebiet der Gefühle Intensitätsänderungen besonders häufig vorkommen und in starken Schwankungen vor sich gehen: ja in diesem »auf und ab« klingt wohl auch schon der Gedanke an, dass bei diesen Bewegungen nicht bloß eine Ab- und Zunahme der Intensität, sondern gelegentlich ein Uebergang in ein entgegengesetztes Gefühl oder, um ein durch die symbolische Darstellung in Fig. 221 nahegelegtes Bild zu gebrauchen, ein Wechsel des Vorzeichens eintritt. Mehr als dieser allgemeine Eindruck der Veränderlichkeit und des gelegentlichen Wechsels zwischen Gegensätzen lässt sich freilich der unmittelbaren und zufälligen Selbstbeobachtung nicht entnehmen; und

auch die planmäßigere Verfolgung der Erscheinungen mittelst der Eindrucks- und Ausdrucksmethode kann kaum hoffen, zu eigentlich exacten Bestimmungen zu gelangen. Jene psychischen Maßprincipien, welche für die Merklichkeitsgrade der Empfindung genaue Vergleichungen und auf sie begründete Gesetzmäßigkeiten gewinnen ließen, versagen in diesem Fall, weil die Gefühlsreactionen, die auf äußere Reize eintreten, weit irregulärer sind, indem hier nicht nur die bei der Empfindung relativ leicht zu eliminirenden Verhältnisse veränderlicher Reizbarkeit eine ungleich größere Rolle spielen, sondern indem auch noch andere Einflüsse, namentlich die Verhältnisse zu gleichzeitigen oder vorangegangenen Vorgängen, überall modificirend sich einmischen. Gleichwohl bleibt auch in diesem Fall selbstverständlich nichts anderes übrig, als dass man den bei der Analyse der Intensitätsänderungen der Empfindung mit Erfolg beschrittenen Weg ebenfalls, so weit wie nur immer möglich unter Beachtung der obwaltenden Unterschiede der Bedingungen, einzuschlagen sucht. Als der Hauptunterschied aber wird hier jener anzusehen sein, der uns durch das Verhältniss der Begriffe »Eindruck« und »Reiz« an die Hand gegeben wird. Nicht die Reize selbst, sondern immer erst die Wirkungen, die sie im Bewusstsein auslösen, sind es, deren sich die Eindrucksmethode bedienen muss. Unter diesen Beziehungen stehen aber hier naturgemäß wieder diejenigen zu den einfachsten psychischen Inhalten, zu den Empfindungen, im Vordergrund, weil von ihnen vor allem anzunehmen ist, dass die begleitenden Gefühle ebenfalls möglichst einfach sind. Ein solches an eine reine Empfindung gebundenes einfaches Gefühl pflegt man auch den Gefühlston der Empfindung zu nennen. In der That lässt sich dieser Ausdruck wohl rechtfertigen, insofern einer bestimmten Empfindung, wie z. B. der Farbe Roth, dem Geruch der Rose u. s. w., eine bestimmte, die betreffende Empfindung unter sonst gleichen Bedingungen annähernd constant begleitende Gefühlsbeschaffenheit zukommt. In diesem keine weiteren Voraussetzungen einschließenden Sinne wollen wir uns daher auch im Folgenden dieses Ausdrucks bedienen. Dagegen ist der andere, oft in ähnlicher Bedeutung gebrauchte »sinnliches Gefühl« minder unverfänglich. Es liegt nämlich nahe, dabei an »nicht sinnliche Gefühle« zu denken, von denen etwa die sinnlichen als eine niederere Gattung unterschieden werden sollten. Nun gibt es aber solche nichtsinnliche Gefühle im psychologischen Sinne ebenso wenig, wie es etwa nicht-sinnliche Vorstellungen gibt. Man wird also gut thun, lediglich einfache und zusammengesetzte Gefühle zu unterscheiden, wobei freilich wiederum beachtet werden muss, dass die letzteren nicht bloße Summationen der ersteren sind, sondern vielmehr durch die synthetischen Vorgänge, auf denen sie beruhen, wesentlich erst ihren specifischen, sie von

den einfachen unterscheidenden Charakter und ihren psychischen Werth empfangen. Wie aber der Ausdruck »sinnliche Gefühle« keine unterscheidende Bezeichnung ist, ebenso wenig würde es anderseits berechtigt sein, sich die zusammengesetzten Gefühle als einfache additive Verbindungen der verschiedenen »Gefühlstöne« zu denken, die den Empfindungen der gleichzeitig im Bewusstsein ablaufenden intellectuellen Vorgänge entsprechen. Sonach ist der Begriff des »Gefühlstones« überhaupt nur eine kurze Bezeichnung für diejenigen einfachen Gefühle, die wir mehr oder minder regelmäßig an bestimmte einfache Empfindungen gebunden vorfinden. Wenn wir das Wort Gefühlston in diesem in seiner Beschränkung klaren und eindeutigen Sinn definiren, so können wir aber das Problem der Intensitätsänderungen der einfachen Gefühle in die Frage zusammenfassen: wie ändert sich bei wechselnder Intensität der Empfindung der Gefühlston der letzteren?

Ist nun auch an eine allgemeingültige Beantwortung selbst dieser einfachen Frage in Anbetracht der ungeheuren Verwickelung der Bedingungen des Gefühlslebens nicht zu denken, so drängt sich doch bei *einer* der oben unterschiedenen drei Gefühlsdimensionen eine durchgreifende, wenngleich im einzelnen mannigfachen Schwankungen unterworfene Beziehung zwischen Empfindungsintensität und Gefühlston unserer Beobachtung auf: bei den *Lust- und Unlustgefühlen*. Sehr intensive Empfindungen sehen wir nämlich stets mit einem Unlustgefühl verbunden, das dann weiterhin mit der Stärke der Empfindung bis zu einer Maximalgrenze, die der Reizhöhe entspricht, zunimmt. Jener untere Grenzpunkt dagegen, wo das Unlustgefühl anfängt, wird offenbar als der Nullpunkt der Lust-Unlustdimension betrachtet werden können. *Unter* diesem Punkte werden demnach im allgemeinen Lustgefühle zu erwarten sein. In der That bestätigt dies die Erfahrung insofern, als sie bezeugt, dass in allen Sinnesgebieten vorzugsweise Empfindungen von *mäßiger* Stärke von Lustgefühlen begleitet sind. So verbinden sich mit den Kitzelempfindungen, die auf rasch wechselnden Hautreizen von geringer Stärke beruhen, mit den Empfindungen mäßiger Muskelanstrengung und Muskelermüdung entschiedene Lustgefühle. Bei den höheren Sinnen treten allerdings die Lust- und Unlustcomponenten überhaupt mehr zurück. Sie sind am ehesten noch dann nachzuweisen, wenn man möglichst die Beziehung auf zusammengesetzte Vorstellungen beseitigt, also einen einfachen Klang oder eine Farbe für sich einwirken lässt, wo dann aber auch hier unzweifelhaft die zunächst wohlthuende Empfindung bei wachsender Intensität allmählich in ein Unlustgefühl übergeht. Nimmt die Empfindung mehr und mehr ab, so vermindert sich übrigens gleichfalls das Lustgefühl, bis es nahe der Reizschwelle verschwindend klein geworden ist. Hiernach

wird die allgemeine Abhängigkeit des Gefühlstones von der Empfindungsintensität wohl folgendermaßen darzustellen sein. Denken wir uns den Gang der Merklichkeitsgrade der Empfindung in der Weise wie in Bd. 1, Fig. 144, S. 500 durch eine Curve dargestellt, bei der die Abscissen innerhalb der Lust-Unlustdimension die Reiz- oder die ihnen entsprechenden absoluten Empfindungswerthe bedeuten, so können wir, wie früher, den Gang der Merklichkeitsgrade der Empfindung gemäß dem WEBER'schen Gesetze durch eine umgekehrte logarithmische Linie, die Abhängigkeit des Lust-Unlustgefühls von der Empfindungsstärke aber durch eine zweite Curve versinnlichen, die in Fig. 231 punktirt gezeichnet ist. Lassen wir die oberhalb der Abscissenlinie errichteten positiven Ordinaten Werthe der Lust, die nach abwärts gerichteten negativen Werthe der Unlust bedeuten, so beginnt die Gefühlscurve bei der Empfindungsschwelle *a* mit unendlich kleinen Lustgrößen und steigt dann zu einem Maximum an, das bei einer gewissen mäßigen Empfindungsstärke *c* erreicht wird. Von da sinkt sie allmählich wieder und kommt bei *e* zum Nullpunkt, worauf mit weiterer Zunahme der Empfindungen der Uebergang auf die negative Seite allmählich wachsende Unlustgrößen andeutet. Die Curve, welche die Abhängigkeit des Lust-Unlustgefühls von der Empfindungsstärke darstellt, unterscheidet sich demnach von derjenigen, die den Gang der Merklichkeitsgrade der Empfindung ausdrückt, wesentlich dadurch, dass sie einen Wendepunkt besitzt, womit eben die Bewegung zwischen den entgegengesetzten Zuständen der Lust und Unlust ausgesprochen ist.

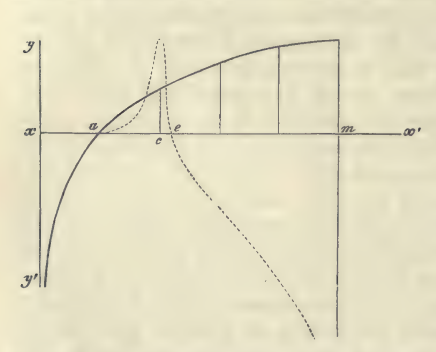


Fig. 231. Lust-Unlustcurve bei wachsender Intensität der Empfindung.

Da die Gefühle nicht, wie die Empfindungen, einem exacten Maße unterworfen werden können, so lässt sich auch über die nähere Gestalt dieser Gefühlscurve nichts bestimmteres angeben. Selbst in ihrem allgemeinen Verlauf ist sie nur bei solchen betonten Empfindungen zu verfolgen, die, wie die Druck- und Temperaturempfindungen der Haut, die Organempfindungen, die Geschmacks- und Geruchsempfindungen, die Gegensätze der Lust und Unlust deutlich erkennen lassen, während bei den Empfindungen der beiden höheren Sinne, bei denen die andern

Gefühlsrichtungen, namentlich die der Erregung und Beruhigung, überwiegen, jene Beziehungen mehr zurücktreten. Auch für die Lust- und Unlustgefühle der sogenannten niederen Sinne ist aber der ganze Verlauf selbst in seinen allgemeinen Zügen nur selten zu verfolgen, theils weil schwächere Empfindungen samt ihrer Gefühlsbetonung unserer Aufmerksamkeit entgehen, wie bei vielen Organempfindungen, theils weil intensiveren Empfindungen andere, ebenfalls gefühlsbetonte sich beimengen: so bei den Druck- und Temperaturempfindungen, mit deren höheren Graden stets Schmerzempfindungen verbunden sind. Uebrigens pflegen sich diese bei einer bestimmten Reizintensität auch den Gesichts- und Gehörseindrücken beizumischen und so mehr oder weniger schnell die eigenthümliche Gefühlsbetonung derselben durch das specifische Unlustgefühl des Schmerzes zu verdrängen[1]. Am ungestörtesten von solchen Einflüssen der Vermischung erscheint die Abhängigkeit der Lust-Unlustcomponenten von der Stärke der Empfindung bei den im allgemeinen durch ihre lebhafte Betonung in diesen Richtungen ausgezeichneten Geschmacks- und Geruchseindrücken, so dass hier das allmähliche Wachsen des Gefühls mit der Empfindung und sein Uebergang aus der Lust- in die Unlustphase in der Regel deutlich zu verfolgen ist. Zwar sind es von den Geschmäcken nur der saure und der salzige, denen man die Eigenschaft eines bei schwächerer Einwirkung angenehmen, bei stärkerer unangenehmen Geschmacks zuzuschreiben pflegt, während das Süße meist ohne Einschränkung als ein angenehmer, das Bittere als ein unangenehmer Eindruck bezeichnet wird. Dennoch wird man nicht anstehen einen mäßigen bittern Geschmack, wie ihn z. B. ein gutes Bier darbietet, angenehm und dagegen die Süßigkeit einer starken Sacharinlösung unangenehm zu finden. Es scheint also, dass auch in diesen Fällen die gleiche Beziehung zur Stärke der Empfindung besteht. Ebenso ist es bekannt, dass Gerüche, die in concentrirter Form zu den unangenehmsten gehören, wie gewisse Producte der Theerdestillation, in starker Verdünnung als Wohlgerüche Verwendung finden; umgekehrt werden uns die angenehmsten Blumengerüche, wie Rosen-, Lavendelöl und ähnliche, in concentrirter Form unerträglich. Hiernach scheint es, dass bei allen diesen zwischen den reinen Formen der Lust und Unlust hin und her schwankenden Gefühlen der Unterschied ihrer Abhängigkeit von der Empfindungsstärke nur auf dem verschieden raschen Verlauf der Gefühlscurve beruht. Während im einen Fall die Lust schon nahe über der Reizschwelle auf ihr Maximum steigt, um dann sofort zu sinken und in wachsende Unlustwerthe überzugehen, mag in einem andern der ganze Verlauf

[1] Alfr. Lehmann, Die Hauptgesetze des menschlichen Gefühlslebens. 1892, S. 170f.

weiter gegen die Reizhöhe verschoben, und die Gegend um das positive Maximum ausgedehnter sein. Der erste dieser Fälle wird bei solchen Empfindungen verwirklicht sein, die wir bei wachsender Stärke der Reize sehr bald als unangenehme, der zweite bei solchen, die wir durchgängig als angenehme betrachten.

Eine scheinbare Ausnahmestellung nimmt unter diesen Gefühlen das Schmerzgefühl ein. Wie die Schmerzempfindung eine von den Druck-, Temperatur- und andern Empfindungen, mit denen sie sich verbinden kann, verschiedene und gelegentlich auch isolirt vorkommende Empfindung ist, so ist die Gefühlsbetonung des Schmerzes durchaus zu trennen von den Gefühlen, die an andere begleitende Empfindungen gebunden sind. Eine sehr starke Druck-, Wärme- oder Kälteempfindung zeigt, auch ohne dass Schmerz hinzutritt, eine unangenehme Gefühlsbetonung. Im normalen Zustand, bei Abwesenheit analgetischer Zustände, pflegt jedoch die den Schmerz verursachende directe Reizung der Nerven schon einzutreten, ehe bei den Druck- und Temperaturempfindungen die Unlustgrenze erreicht ist. Hier wird dann das etwa noch vorhandene schwache Lustgefühl der Wärme oder auch das schon auf den Nullpunkt sinkende indifferente Gefühl eines Druckes vollständig durch das Schmerzgefühl übertäubt. Dabei ist dieses zugleich das einzige sicher nachweisbare Beispiel eines Gefühls, das nur als verschiedengradiges Unlustgefühl, nie als Lustgefühl vorkommt. Dies lässt sich wohl aus dem von allen andern Empfindungen wesentlich abweichenden Verhalten der Schmerzempfindungen erklären. Wir empfinden, wie früher (Bd. 1, S. 399) bemerkt, Schmerz, wenn ein sehr starker Reiz, sei es von außen stammend, sei es im Organismus entstehend, bestimmte sensible Nerven trifft. Schmerzreize von minimaler Größe gibt es also überhaupt nicht. Selbst jene Schmerzempfindungen, die bei der Erregung der Schmerzpunkte der äußeren Haut mit verhältnissmäßig schwachen Reizen entstehen (s. oben S. 9 ff.), setzen sofort mit einer Stärke ein, die der Reizhöhe nahe liegt, und von der aus dann nur noch relativ geringe Intensitätsänderungen stattfinden. Somit können wir uns das Wachsthum einer Schmerzempfindung durch eine sofort bei der Reizschwelle mit bestimmten positiven Werthen beginnende Empfindungscurve und demnach das Wachsthum des Schmerzgefühls durch den bei e beginnenden negativen Theil der Gefühlscurve veranschaulichen. Demnach bringen es wohl nur die besonderen psychophysischen Bedingungen der Schmerzempfindung mit sich, dass bei ihnen mit den im näheren Umkreis der Reizschwelle liegenden Empfindungen auch die entsprechenden Gebiete der Gefühlscurve hinwegfallen.

Darf, unter Berücksichtigung dieses nicht sowohl den Gefühls- als

den Empfindungselementen zuzurechnenden Ausnahmefalls, der Satz als ein allgemeingültiger angesehen werden, dass sich der Gefühlston der Empfindung in seiner Lust-Unlustcomponente derart stetig mit der Empfindungsintensität ändert, dass er mit dem Wachsthum der Empfindungsstärke entgegengesetzte Gefühlsphasen durchläuft, so lehrt nun aber die Beobachtung, dass eine ähnliche Beziehung bei den übrigen Gefühlscomponenten nicht besteht. Wohl kann eine Erregung in Beruhigung, eine Spannung in Lösung übergehen, und dieser Fall ereignet sich im zeitlichen Verlauf der Gefühlsvorgänge sehr häufig. Nirgends sind aber hier die entgegengesetzten Gefühlsrichtungen bestimmten Intensitätsunterschieden derart zugeordnet, dass ein bestimmtes Gefühl bei Zunahme der Empfindungsstärke eindeutig und stetig durch einen Indifferenzpunkt hindurch in sein Contrastgefühl übergeht; sondern überall, wo sich solche Uebergänge zu vollziehen scheinen, da handelt es sich in Wahrheit um Mischgefühle, deren Componenten bei Veränderung der Reizintensität zugleich qualitative Veränderungen erfahren. So hat die rothe Farbe unter allen Umständen eine erregende, mit zunehmender Reizstärke im gleichen Sinne zunehmende Gefühlswirkung. Aber diese verbindet sich nun, sobald sich die Intensitätsänderung innerhalb weiterer Grenzen bewegt, zugleich mit den qualitativen Unterschieden des Hellen und Dunkeln, von denen das erstere erregend, das zweite beruhigend wirkt. Ein dunkles Roth kann daher nun ebenfalls im Verhältniss zur helleren Farbe beruhigend erscheinen. Aber dies geschieht nicht in der Form einer eindeutigen Functionsbeziehung zwischen Gefühl und Empfindungsstärke, daher auch die mittlere Gefühlslage niemals einem Gefühlswerthe Null entspricht. Aehnlich verhält es sich mit den Gegensätzen leiser und lauter Töne, wo jene wesentlich der qualitativ abweichenden Klangfärbung ihre relativ beruhigende Gefühlswirkung verdanken (siehe unten c).

Wenn sich auch, wie oben bemerkt, wegen der Unmöglichkeit einer exacten Messbarkeit der Gefühlsstärke, abgesehen von der allgemeinen Form der Gefühlscurve etwas Näheres über deren Verlauf bei wachsender Empfindungsintensität nicht aussagen lässt, so scheint mir doch aus den der gewöhnlichen Beobachtung geläufigen Erscheinungen hervorzugehen, dass die in Fig. 231 gezeichnete punktirte Curve einigermaßen als ein Bild des in den einfachsten Fällen zu constatirenden normalen Verhältnisses der Lust-Unlustcomponente zur Stärke der Empfindung gelten dürfte. Vor allem kommt in dieser Curve die Thatsache zum Ausdruck, dass das Maximum des Lustgefühls nur an einen eng begrenzten Umfang von Empfindungsintensitäten gebunden zu sein pflegt. Ist dieses Maximum auch kein Punkt, so scheint es doch eine Strecke von verhältnissmäßig kleiner Ausdehnung zu sein. In Folge des später zu besprechenden Einflusses der Zeitdauer der Empfindung auf den Gefühlston und

anderer Bedingungen mag sich dieses Maximum bei einer und derselben Empfindung erheblich verschieben können; unter constant gehaltenen Bedingungen, wie sie hier vorauszusetzen sind, dürfte aber der Umfang der Lustgefühle innerhalb einer gegebenen Scala von Empfindungsstärken überhaupt relativ beschränkt sein und daher auch das Lustmaximum nur einen kleinen Raum einnehmen. Die Grenzen z. B., innerhalb deren uns das Saure, Salzige, Bittere u. s. w. ein Maximum angenehmen Geschmacks erweckt, scheinen sehr enge zu sein. Der Weg vom zu wenig zum zu viel ist ja bekanntlich nach den Erfahrungen der Kochkunst bei den Zuthaten an Salz, Säure, Gewürzen ein sehr kleiner. Wenn LEHMANN in der im übrigen analogen Construction der Gefühlscurve dem Lustmaximum eine erhebliche Ausdehnung zuschreibt[1], so hat dies wohl darin seinen Grund, dass er hierbei hauptsächlich die Empfindungen der beiden höheren Sinne berücksichtigt, die aber, wie ich glaube, schon wegen des überwiegenden Einflusses der andern Gefühlscomponenten hier weniger maßgebend sind. Uebrigens scheint es mir, dass auch in der Musik und Malerei überall, wo nicht vorübergehend ungewöhnlich starke Contrastwirkungen beabsichtigt sind, die Intensität der zur normalen ästhetischen Wirkung verwandten Eindrücke im Verhältniss zur ganzen Ausdehnung der realen Empfindungsscala nur einen beschränkten Raum einnimmt. Neben den zwischen Lust und Unlust sich bewegenden Gefühlen, für die er sich, abgesehen von dem soeben erwähnten Punkte, der obigen Darstellung der Gefühlscurve anschließt, hat übrigens LEHMANN noch ursprünglich unlustbetonte Gefühle unterschieden, denen eine bloß unter der Abscissenlinie verlaufende Curve entsprechen würde. Er stützt sich dabei theils auf die Schmerzgefühle, theils aber auch auf solche unangenehme Stimmungen, die an zusammengesetzte Vorstellungen gebunden sind. Nun ist, wie oben ausgeführt, der Unlustcharakter der Schmerzgefühle nicht sowohl in den Gefühlen selbst, als in den besonderen psychophysischen Bedingungen der Schmerzempfindungen begründet. Bei den zusammengesetzten Vorstellungen aber ist überhaupt die Stärke der Empfindung von verschwindendem Einflusse auf den Charakter des Gefühls, und bei diesem treten häufig wieder die andern Gefühlscomponenten mehr in den Vordergrund. Es scheint mir, dass bei dieser Uebertragung des Begriffs der Empfindungsintensität auf beliebige zusammengesetzte Vorstellungen der aus der HERBART'schen Psychologie herübergenommene metaphysische Begriff der »Stärke einer Vorstellung« zuweilen noch eine unberechtigte Rolle spielt. Beim Anblick eines Hauses kann ich zweifellos den einzelnen Empfindungen, aus denen sich das Bild zusammensetzt, eine gewisse Stärke beilegen. Wie aber die Vorstellung als Ganzes neben der nur indirect und keineswegs eindeutig von der Intensität der in sie eingehenden Empfindungen abhängigen »Klarheit« noch eine ihr zukommende »Stärke« besitzen und durch diese das von ihr abhängige ästhetische Gefühl in einer irgendwie zu deutlichem Ausdruck zu bringenden einfachen Gesetzmäßigkeit bestimmen soll, begreife ich nicht. Von einer bestimmten Beziehung zwischen der Intensität des Eindrucks und dem Gefühlston kann darum überhaupt nur bei den einfachen Empfindungen die Rede sein, bei denen ja auch allein, wie oben ausgeführt wurde, der Begriff des »Gefühlstons« eine gewisse Berechtigung besitzt.

---

[1] LEHMANN, a. a. O. S. 181

Während Anfang und Ende der Lust-Unlustcurve (Fig. 231) unzweideutig durch die Werthe der Reizschwelle und der Reizhöhe gegeben sind, ist dies nicht so mit den beiden ausgezeichneten Punkten, die dem Maximum der positiven Lust und dem Indifferenzpunkte entsprechen. Doch hat für den ersteren die Annahme einige Wahrscheinlichkeit, dass er in der Nähe jenes Cardinalwerthes der Empfindung liege, wo die Empfindung proportional der Reizstärke wächst[1]. Bei schwächeren Reizen wird nämlich in der Regel die absolute Größe der Empfindung zu klein sein, als dass sich ein Lustgefühl von hinreichender Stärke damit verbinden könnte, bei intensiveren Reizen fehlt es an der genügenden Abstufung in der Intensität der Empfindungen. Dass aber diese beim Gefühl eine wesentliche Rolle spielt, geht aus der Unmöglichkeit hervor, bei beharrender Empfindungsgröße auch dieselben Lustwerthe festzuhalten. Da nun der Gefühlston stets, wie wir sehen werden, bei einer gewissen Dauer der Empfindung abnimmt, so werden, wenn nicht abändernde Einflüsse mitwirken, im allgemeinen wohl diejenigen Reizstärken, die für den Wechsel der Empfindungen die günstigste Bedingung darbieten, auch mit den größten Lustwerthen verbunden sein. Die Analogien aus dem Gebiet der zusammengesetzteren Gemüthsbewegungen scheinen dies zu bestätigen. Für die Schätzung kleiner Schwankungen des Glücks ist der am günstigsten gestellt, bei dem die Beglückung der Zunahme der äußeren Glücksgüter annähernd proportional ist. Unter dieser Grenze ist der absolute Werth der vorhandenen Glücksgüter zu klein, über ihr sind die unter gewöhnlichen Verhältnissen vorkommenden Schwankungen ihrer Werthe in ihrer relativen Größe zu unbedeutend, um eine zureichende Befriedigung möglich zu machen. Darum bietet, wie die Erfahrung aller Zeiten lehrt, eine mäßige Segnung mit Glücksgütern für das Gefühl der Beglückung die günstigsten Bedingungen.

In das Gebiet dieser Beziehungen zwischen Intensität des Eindrucks und Stärke des Gefühls gehört schließlich noch eine andere Reihe von Erfahrungen, die von FECHNER den allgemeinen Bewährungen des WEBER'schen Gesetzes zugesellt worden ist, und die in der That merkwürdiger Weise zum ersten Mal zur Aufstellung einer dem psychophysischen Gesetze FECHNERS gleichenden logarithmischen Function Anlass gegeben hat. Es ist das die sogenannte »Mensura sortis« DANIELL BERNOULLIS oder, wie es LAPLACE ausdrückte, das Gesetz der Abhängigkeit der »Fortune morale« von der »Fortune physique«[2]. Für den Besitzer von 100 Thalern bedeutet, wie man annehmen kann, ein Zuschuss von einem Thaler ebensoviel wie für den Besitzer von 1000 ein Zuschuss von 10 Thalern. Allgemein ausgedrückt: Die Intensität der Gefühlsreaction wächst proportional den relativen Zuwüchsen der Empfindungsreize[3]. Gleichwohl ist ersichtlich, dass dieses Gesetz, welches sich natürlich in diesem Fall dem nämlichen Relativitätsprincip subsumiren lässt, dem überhaupt das WEBER'sche Gesetz Ausdruck gibt (Bd. 1, S. 541), hier nur

[1] Vgl. Bd. 1, S. 501.

[2] D. BERNOULLI, Comment. Acad. scient. Petropolit. t. 5, p. 177. LAPLACE, Théorie analytique des probabilités. 1847, p. 187, 432. FECHNER, Psychophysik, Bd. 1, S. 236.

[3] Schon BERNOULLI und LAPLACE bringen diesen Satz mathematisch in die logarithmische Form. Bezeichnen wir mit G die Gefühls-, mit R die Reizstärke, mit K und C Constanten, so ist innerhalb der Grenzen der Gültigkeit des Beziehungsgesetzes:

$$G = K \cdot \log R + C.$$

innerhalb enger Grenzen seine Geltung bewahren kann. Es muss sie nothwendig verlieren, sobald die früher besprochenen Einflüsse der Reizstärke und Reizqualität auf die Richtung des Gefühlstones hervortreten. Diese Einflüsse lassen aber von vornherein annehmen, dass jene »Mensura sortis« nur innerhalb eines Gebietes von Reizstärken, das dem aufsteigenden Theil der Gefühlscurve (Fig. 231) angehört, eine annähernde Wahrheit beanspruchen kann. Auch bringt es der unbestimmtere, einer genauen quantitativen Messung unzugängliche Charakter der Gefühle mit sich, dass bei ihnen von einer exacten Nachweisung des Gesetzes selbst in den Grenzen, innerhalb deren die Erfahrung eine ungefähre Uebereinstimmung zu ergeben scheint, nicht die Rede sein kann. Dazu kommt, dass eine andere allgemeine Erfahrung für die beschränkte Ausdehnung eintritt, die dem Lustantheil der Gefühlscurve überhaupt zukommt. Dies ist die Thatsache, dass die Eindrücke, die von verhältnissmäßig geringer Gefühlsbetonung sind, also dem Indifferenzpunkt nahe liegen, durchweg einer gewissen mittleren Intensitätsregion angehören. Die gewöhnlichen Licht- und Schalleindrücke unserer täglichen Umgebung entsprechen vor allem diesem, für die Geltendmachung der Vorstellungsseite günstigsten Nullpunkt der Gefühlsscala. Wo sie sich zu stärkeren Gefühlswirkungen erheben, wie im ästhetischen Eindruck, da handelt es sich nicht mehr um einfache, sondern um zusammengesetzte Gefühle, in denen die Gefühlstöne der in sie eingehenden Empfindungen eine verhältnissmäßig untergeordnete Rolle spielen, und die überhaupt an Bedingungen geknüpft sind, die ihnen im allgemeinen den Charakter von Ausnahmeerscheinungen in dem Zusammenhang unseres Seelenlebens anweisen[1].

c. Qualitative Unterschiede der einfachen Gefühle.

Von der Qualität der Empfindung ist stets auch der Gefühlston, der sie begleitet, in seiner besonderen, für jede Empfindung specifischen Qualität abhängig. Diese Gefühlsqualität selbst empfängt aber durch die Beziehung auf die verschiedenen Gefühlsrichtungen ihre allgemeinste Bestimmung, innerhalb deren dann die mannigfachsten einzelnen Gefühlstöne möglich sind. In der einen dieser Dimensionen des Gefühlscontinuums, in der der Lust-Unlustcomponenten, ist nun, wie wir sahen, die Qualität des Gefühls gleichzeitig derart von der Empfindungsintensität abhängig, dass sie sich bei gleich bleibender Qualität der Empfindung zwischen entgegengesetzten Phasen bewegen oder aber dem Indifferenzpunkt dieser Componenten angehören kann. Darum, wenn wir im gewöhnlichen Leben gewisse Eindrücke schlechthin als angenehme, lusterregende, andere als unlusterregende bezeichnen, so ist das überall nur relativ, nämlich in der Einschränkung auf diejenigen Empfindungsintensitäten zu verstehen, die bei den betreffenden Eindrücken die häufigsten

[1] Vgl. hierzu auch die Ausführungen von TH. LIPPS, Das Relativitätsgesetz der psychischen Quantität und das WEBER'sche Gesetz. Sitzungsber. der Münchener Akademie. Philos.-hist. Cl. 1902, I, S.-A. S. 20 ff.

sind. Das verhält sich nun wesentlich anders bei den andern Gefühlscomponenten. Hier hat eine gegebene Empfindung in dem Sinne einen absoluten Gefühlswerth, als derselbe der bestimmten Empfindungsqualität immer zuzukommen scheint, wenn auch natürlich die Stärke des Eindrucks Bedingungen mit sich führen kann, die indirect den Gefühlston momentan oder bei längerer Dauer aufheben. Solche Bedingungen liegen namentlich einerseits in den oben (S. 315) erwähnten Mischungen der Gefühle, anderseits in der Wirkung, welche die Zeitdauer der Empfindungen auf den Gefühlston ausübt, und die wieder zum Theil von der Intensität des Eindrucks abhängt. So bringen es diese Beziehungen zur Empfindungsstärke mit sich, dass bei den Lust-Unlustgefühlen eine eindeutige Zuordnung eines bestimmten Gefühls zu einer gegebenen Empfindungsqualität überhaupt nicht stattfindet, während bei den andern Gefühlscomponenten, da ihnen jene directen Beziehungen zur Empfindungsstärke abgehen, die eindeutige Verbindung eines Gefühlstones mit einer bestimmten Empfindungsqualität von vornherein nicht ausgeschlossen ist. In der That scheint es nun, dass hier besonders die Gefühle der Erregung und der Beruhigung in ihren einfachsten Formen gewissen Gefühlsqualitäten als solchen anhaften. Dabei sind es nun aber, im Unterschied von den Gemeinempfindungen, den Empfindungen des Tastsinns und der beiden chemischen Sinne, die wir als die Hauptträger relativ isolirbarer Lust-Unlustgefühle kennen lernten, hauptsächlich die Qualitäten der beiden objectiveren Sinne, des Gehörs- und des Gesichtssinnes, bei denen wir jene Gefühlsgegensätze der Erregung und Ruhe an qualitative Unterschiede gebunden sehen, die wir vielleicht nur deshalb schon in der Empfindung als Gegensätze aufzufassen geneigt sind. Offenbar hängt hiermit einerseits die Empfindungsthatsache zusammen, dass die Qualitäten dieser Sinne selbst schon wohl geordnete Mannigfaltigkeiten darstellen, innerhalb deren wir ohne weiteres Empfindungen größten Unterschieds einander zuordnen können, während anderseits auf der Beziehung dieser Empfindungen zu objectiven Vorstellungen die Gefühlsthatsache beruht, dass die Lust-Unlustcomponenten hier im Vergleich mit den sonstigen Gefühlselementen zurücktreten oder, so weit sie vorhanden sind, mäßige Grade nicht überschreiten.

Unter den Schallempfindungen können die Geräusche von sehr wechselnden Gefühlen begleitet sein, die aber sehr erheblich von associativen Beziehungen bestimmt sind (siehe unten 4,c), so dass jene über das Gebiet der einfachen Gefühlstöne hinausreichen. Soweit solche in Betracht kommen, gehören sie aber den Klangbestandtheilen an, die in sie eingehen. Um so mehr sind diese, die Tonhöhen und Klangfarben, von

charakteristischen Gefühlen begleitet, die sich offenbar vorzugsweise in die Dimension der Erregung und Beruhigung als verschiedene Abtönungen derselben und unter wechselnder Beimischung anderer Factoren, namentlich aus der Reihe der Lust-Unlustcomponenten, einordnen lassen. So scheinen uns tiefe Töne ernst und würdig, hohe heiter, scherzhaft, während die mittleren Lagen der Tonscala mehr auch in ihrem Gefühlstone zwischen jenen Gegensätzen liegen. Theils weil dadurch die Lustcomponente deutlicher hervortreten kann, theils wohl auch weil diese selbst bei den mittleren Tönen ausgeprägter ist, pflegen sie einer gleichförmig erfreulichen Stimmung Ausdruck zu geben[1]. Mannigfaltiger sind die Gefühle, die sich an die Klangfarbe anschließen. Aber wie die letztere auf eine Mehrheit von Tönen zurückgeführt werden kann, so scheint es möglich, auch das begleitende Gefühl aus jenen Grundcharakteren der Stimmung abzuleiten, die den Tonhöhen innewohnen. Klangfarben nämlich, bei denen der Grundton rein oder nur mit den nächsthöheren Obertönen verbunden ist, wie z. B. die der Flötenpfeifen der Orgel, sind dem Ausdruck ernsterer Stimmungen angepasst, Klangfarben, die auf dem starken Mitklingen hoher Obertöne beruhen, wie die der meisten Streich- und Blasinstrumente, mehr den heiter oder leidenschaftlich angeregten Gemüthslagen. Wo der durch die Klangfarbe hervorgerufene Gefühlston mit demjenigen der Tonhöhe im Widerstreit steht, da können sich Gefühle von eigenthümlicher Färbung bilden, deren Wesen eben auf dem Contrast der Gefühlstöne beruht, und die uns vornehmlich in gewissen zwiespältigen Affecten, wie in dem Bangen der Erwartung, der Wehmuth u. s. w., begegnen. Diese Gefühle finden daher zuweilen in den Klangfarben der Streichinstrumente von geringer Tonhöhe ihren adäquaten Ausdruck. Ganz anders gestaltet sich unter denselben Bedingungen der Gefühlscharakter des Klangs, wenn dieser gleichzeitig eine bedeutende Stärke besitzt, wie bei den Blechinstrumenten. Hier gewinnt er den Charakter energischer Kraft. Wo der Grundton überwiegt, wie beim Horn, da erscheint diese Kraft durch Ernst gedämpft und kann, bei sinkender Klangstärke, bis zur Schwermuth herabgedrückt werden. Zu seinem lautesten Ausdruck kommt das Kraftgefühl bei dem von hell schmetternden Obertönen begleiteten Schall der Trompete. Ernst mit gewaltiger Kraft gepaart klingt in den Tonmassen der Posaune und des Fagotts an. Natürlich kann aber ein und derselbe Klang durch wechselnde Stärke mehr dem einen oder dem andern Gefühlston angepasst werden. Zugleich kommt in Betracht, dass sich mit der Stärke immer

---

[1] Mehr als unser tief und hoch enthalten wohl die griechisch-lateinischen Benennungen βαρύ, grave, und ὀξύ, acutum, zugleich einen Hinweis auf diese Gefühlsfärbungen der Töne je nach ihrer Höhe.

auch etwas die Klangfarbe ändert, da bei wachsender Klangstärke die höheren Obertöne intensiver mitklingen. Gehoben wird endlich die Wirkung durch die Verhältnisse der zeitlichen Dauer der Klänge. Der langsame Wechsel der letzteren gibt den ernsten und schwermüthigen, der schnelle den freudigen und gehobenen Stimmungen Ausdruck, daher die langsame Klangbewegung die Gefühlstöne der tiefen, die rasche diejenige der hohen Tonlagen verstärkt.

Nicht selten gewinnt ferner der Charakter solcher Klänge, die von hohen Obertönen begleitet sind, dadurch eine eigenthümliche Färbung, dass einzelne dieser höheren Partialtöne Schwebungen bilden und Dissonanz erzeugen. Wo auf diese Weise die Dissonanz nur einen Klang begleitet, dessen überwiegende Bestandtheile consonant sind, da fügt sie der sonstigen Wirkung die Eigenschaft einer gewissen Unruhe hinzu, die in dem raschen Wechsel der dissonirenden Klangelemente ihren unmittelbaren sinnlichen Grund hat. Diese Unruhe kann dann wieder verschiedene Färbungen annehmen, die sich nach der sonstigen Natur des Klanges richten. Hat letzterer einen sanfteren Charakter, so liegt in der Dissonanz der höheren Partialtöne das sinnliche Element einer melancholisch-zerrissenen Gemüthsstimmung; starken Klängen theilt sich die Stimmung ungeduldiger Energie mit. Derselbe Charakter der Unruhe gelangt endlich zur vorherrschenden Wirkung bei dissonanten Zusammenklängen, bei denen jene wechselseitige Störung, die im vorigen Fall nur einzelne Partialklänge betroffen hat, über eine ganze Klangmasse sich ausdehnt. Sollen solche unruhige Stimmungen möglichst stark ausgedrückt werden, so bedient sich daher die harmonische Musik absichtlich dissonanter Zusammenklänge. Dabei verlangt die melancholische Stimmung, wie überhaupt eine getragenere Tonbewegung, so auch langsamere Schwebungen, während den energischeren Gemüthsbewegungen, die durch rasch bewegliche Klangmassen musikalisch geschildert werden, die scharfe, geräuschähnliche Dissonanz entspricht. Uebrigens gehören Consonanz und Harmonie bereits dem Gebiet der zusammengesetzten ästhetischen Gefühle an, während Schwebungen und Rauhigkeit des Klangs noch einfachen Gefühlen entsprechen, die dann aber freilich, wie alle Gefühlstöne der höheren Sinne, zu Elementen ästhetischer Wirkung werden können[1].

Der Gefühlston der Lichtempfindungen ist von den drei Bestandtheilen derselben, dem Farbenton, der Lichtstärke und dem Farbengrad (der Sättigung) abhängig. Demnach bilden hier die Gefühlsqualitäten eine Mannigfaltigkeit, die sich, gleich dem System der Lichtempfindungen

[1] Ueber die Gefühle der Harmonie und Disharmonie vgl. Abschn. IV.

selbst, nach drei Dimensionen ordnen lässt. Auch diese zusammengesetztere Mannigfaltigkeit führt aber in allen ihren einzelnen Gefühlstönen auf die Grundformen der erregenden und deprimirenden Gefühle unter wechselnderer Beimischung anderer Componenten, namentlich aus der Lust-Unlustreihe, zurück, und sie bietet einen besonders deutlichen Beleg für die Auffassung, dass die Dimensionen des allgemeinen Gefühlscontinuums eben nur Grundformen der Gefühle, nicht Einzelgefühle bezeichnen (S. 290). Dies tritt nicht minder darin hervor, dass wir hier, ähnlich wie schon bei den Tönen und Klängen, keine sprachlichen Ausdrücke besitzen, um die specifischen Gefühlsnuancen zu bezeichnen, sondern genöthigt sind, sie durch die Namen für die ihnen verwandten zusammengesetzten Affecte und Stimmungen anzudeuten. So entsprechen zunächst den Polen des Weiß und Schwarz auf der Farbenkugel (Fig. 185, S. 162) entgegengesetzte Gefühle, dem Schwarz der Ernst und die Würde, dem Weiß die heiteren, lebensfreudigen Stimmungen. Zwischen beiden schwebt das Grau als Ausdruck einer neutralen oder zweifelhaften Gemüthslage. Den Gefühlston der reinen Farben verschaffen wir uns am vollkommensten in einfarbiger Beleuchtung, also z. B. bei der Betrachtung einer gleichförmig weißen Fläche durch farbige Gläser, wo, wie GOETHE treffend sagt, man gleichsam mit der Farbe identisch wird, indem sich »Auge und Geist unisono stimmen«[1]. Die Thatsache, dass die Farben eine in sich zurücklaufende Reihe bilden, spricht sich ferner auch in ihrem Gefühlston aus, indem sich die größten Gegensätze des letzteren auf den gegenüberliegenden Hälften des Farbenkreises finden, Violett oder Purpur aber und das diesem complementäre Grün die Uebergänge zwischen beiden Gefühlsseiten vermitteln. Die Farbentöne von Roth bis Grün hat GOETHE als die Plus-Seite, die von Grün bis Violett als die Minus-Seite des Farbenrings bezeichnet, um damit anzudeuten, dass jenen ein erregender, diesen ein herabstimmender Gefühlston innewohne[2]. Da nun die Unterschiede des Gefühls allgemein mit denen der Empfindung zunehmen, so ist anzunehmen, dass sich auch hier diejenigen Farben am meisten unterscheiden werden, zwischen denen innerhalb des Farbenkreises die größte Zahl von Abstufungen liegt. Unter den Hauptfarben bieten in der That, wie schon GOETHE erkannt hat, Gelb und Blau den größten

---

[1] GOETHES Farbenlehre, § 763. Weimarer Ausgabe, 2. Abth. Bd. 1, S. 309. Allerdings ist, will man den Gefühlston der Farbe rein erhalten, die Betrachtung einer gleichförmig weißen Fläche erforderlich. Die von GOETHE an mehreren Stellen empfohlene Betrachtung einer Landschaft durch farbige Gläser verstärkt allzu sehr die ohnehin wohl niemals ganz fehlenden associativen Wirkungen. (Siehe unten 4, c.)

[2] Farbenlehre, a. a. O. S. 306 ff. Vgl. auch FECHNER, Vorschule der Aesthetik. Bd. 2, 1876, S. 212 ff. ALFR. LEHMANN, Farvernes elementäre Aesthetik. (Elementare Aesthetik der Farben.) 1884.

Unterschied des Gefühls. Das zu Gelb complementäre Violett hat bereits etwas von der aufregenden Stimmung des Roth an sich. Gelb wird daher von Malern vorzugsweise als die warme, Blau als die kalte Farbe bezeichnet. Das Grün aber hält auch nach seinem Gefühlston die Mitte zwischen Gelb und Blau: es ist die Farbe der ruhig heitern Stimmung, die wir deshalb am ehesten als dauernde Umgebung ertragen. Während so den drei mittleren Hauptfarben Gefühle entsprechen, welche die sinnlichen Grundlagen einfacher Gemüthsstimmungen, der einfachen Anregung und Beruhigung sowie des Gleichgewichts zwischen beiden, bilden, gehören die Endfarben des Spektrums den unruhigen, aufgeregteren Stimmungen an, wobei jedoch der allgemeine Charakter der Plus- und Minusseite erhalten bleibt. So ist das Roth die Farbe energischer Kraft. Bei großer Lichtstärke ist ihm mehr als irgend einer andern ein aufregendes Gefühl eigen, wie denn bekanntlich Thiere und Wilde durch die blutrothe Farbe gereizt werden. Bei geringerer Lichtstärke dämpft sich sein Gefühlston zu Ernst und Würde, einem Eindruck, den es noch vollständiger im Purpur annimmt, wo es zu den Farben der ruhigeren Stimmung, Violett oder Blau, übergeht. Das Violett endlich zeigt, entsprechend seiner gleichzeitigen Verwandtschaft zu Blau und Roth, einen Zug düsteren Ernstes und unruhig sehnender Stimmung, der auch dem Indigblau schon theilweise zukommt.

Diese Wirkung der reinen Farben wird nun in entgegengesetzter Weise modificirt, je nachdem sie entweder durch die Beimengung von Weiß an Sättigung vermindert werden, oder sich in Folge der abnehmenden Lichtstärke dem Schwarz nähern. Beiden Veränderungen entsprechen Modificationen des Gefühls, die sich im allgemeinen als Combinationen der Wirkung des reinen Weiß und Schwarz mit derjenigen der Farbe betrachten lassen. So wird der aufregende Eindruck des Roth durch verminderte Sättigung im Rosa zu einem Gefühl gemildert, das an den Affect aufgeregter Freude erinnert. In dem weißlichen Violett oder Lila hat sich der melancholische Ernst des dunkeln Violett zu sanfter Schwermuth ermäßigt; im Himmelblau hat die kalte Ruhe des gesättigten Dunkelblau einer ruhigen Heiterkeit Platz gemacht. Nicht minder wird die erregende Stimmung des Gelb durch den Zusatz von Weiß zu dem ruhigeren Lustgefühl ermäßigt, das die Empfindung des reinen Sonnenlichtes begleitet, und das Grün verliert durch verminderte Sättigung von seinem ausgleichenden Charakter, indem sich ihm etwas von der erregenden Wirkung des Hellen beimengt. Dagegen nehmen alle Farben, die an und für sich einen ernsten Charakter tragen, wie Roth, Violett, Blau, auch Grün, mit verminderter Lichtstärke an Ernst des Ausdrucks zu. Nur beim Gelb wirkt die Lichtabnahme vielmehr als ein Gegensatz zu der an

und für sich dem weißen Licht verwandten Stimmung der Farbe. So enthält das dunkle Gelb und das ihm gleichende spektrale Orange einen Ton gedämpfter Erregung, der, wenn die Lichtabnahme noch weiter geht, im Braun schließlich einer neutralen Stimmung weicht. Dies ist wohl der Grund, weshalb wir neben dem gesättigten Grün, der einzigen eigentlichen Farbe von ähnlich neutraler Bedeutung, und dem Grau, das zwischen den Gegensätzen von Weiß und Schwarz in der Mitte liegt, noch das Braun als Farbe derjenigen Gegenstände wählen, die uns fortwährend umgeben. Aber unter diesen dreien nimmt die Indifferenz zu mit dem Verlust des entschiedenen Farbencharakters. Das Grün, obgleich mitten inne zwischen dem erregenden Gelb und dem beruhigenden Blau, entbehrt darum doch nicht des Ausdrucks, sondern in ihm wird eben jenes Gleichgewicht des Gefühls zwischen Erregung und Ruhe selber zur Stimmung. Gleichgültiger ist schon das Braun, und völlig verloren gegangen ist der Gefühlscharakter der Farbenwelt in dem Grau. Braun und Grau wählen wir daher als Farben unserer Kleidung, unserer Tapeten und Möbel, so recht eigentlich in der Absicht nichts damit auszudrücken.

Wenn mehrere Farben neben einander auf das Auge einwirken, so bestimmt der wechselseitige Einfluss, den sie auf einander ausüben, mit der Empfindung auch den Gefühlston der einzelnen Eindrücke. Wird durch den Contrast die Farbe gehoben, so wird ihr Gefühlston verstärkt, und das entgegengesetzte tritt ein, wenn die Lichteindrücke sich schwächen[1]. Die beiden gegen einander um 180° gedrehten Farbenkreise in Fig. 202 (S. 211) veranschaulichen daher auch diese Seite der Farbenwirkung, indem die wechselseitige Hebung für die zusammentreffenden Complementärfarbenpaare am größten ist und sich mit dem Lageunterschied der einander inducirenden Farben vermindert. Analog dem Farbenwirkt der Helligkeitscontrast, der entweder mit dem ersteren sich verbinden oder aber verschiedene Helligkeitsstufen einer und derselben Lichtqualität in ihrem Eindruck verstärken kann[2].

Tritt uns auf diese Weise bei den Klang- und Lichteindrücken die unmittelbare Beziehung, welche die Qualität der Empfindung zu den Gefühlscomponenten, namentlich der Erregung und Depression darbietet, wegen der ausgeprägten Beschaffenheit der Gefühle bei gleichzeitig mannigfaltiger Nuancirung derselben besonders auffällig entgegen, so kann man nun aber, von hier ausgehend, nicht verkennen, dass sie auch in den übrigen Sinnesgebieten nicht fehlt, sofern sich hier überhaupt der Gefühlston in den außerhalb der Lust-Unlustreihe liegenden Richtungen über den

---

[1] Ueber die Contrasterscheinungen vgl. oben Cap. X, S. 207 ff.

[2] A. Kirschmann, Philos. Stud. Bd. 7, 1892, S. 362 ff. J. Cohn, ebend. Bd. 10, 1894, S. 562 ff. Vgl. hierzu die Erörterung der ästhetischen Elementargefühle in Abschn. IV.

Indifferenzpunkt erhebt. So ist im Eindruck der Wärme die erregende, in dem der Kälte die deprimirende Stimmung deutlich genug, wie das ja auch schon die oben erwähnten metaphorischen Benennungen »warme« und »kalte« Farben zeigen, Uebertragungen, die nach dem Inhalt der Empfindungen als solcher wohl kaum verständlich sein würden, aus der Aehnlichkeit der Gefühlsstimmung aber ohne weiteres sich erklären. Nicht minder bemerken wir bei Gerüchen neben den hier freilich meist sehr überwiegenden Lust- oder Unlustbetonungen doch auch erregende oder, in selteneren Fällen, beruhigende Nebenwirkungen, die, von jener Beziehung zur Intensität der Eindrücke relativ freier, an die Qualität als solche gebunden sind. Danach darf man es wohl als einen Erfahrungssatz aussprechen, dass überall, wo in einem Empfindungssystem, analog wie bei den Tönen und Farben, größte qualitative Unterschiede als Endglieder einer reinen Qualitätsabstufung von Empfindungen vorkommen, solche Unterschiede mit entgegengesetzten Gefühlsbetonungen verbunden zu sein pflegen, die sich irgend welchen Modificationen der Grundformen der Erregung und Beruhigung einordnen; und wahrscheinlich ist es sogar erst dieser Gegensatz der begleitenden Gefühle, der jene Unterschiede der Empfindung zu Gegensätzen ausprägt. Ist es doch eigentlich nicht einzusehen, warum wir kalt und warm, hoch und tief, weiß und schwarz oder gar gelb und blau gerade als Gegensätze auffassen sollten, wenn sie uns lediglich als reine, völlig gefühlsfreie Empfindungen gegeben wären. Gewiss würden sie Unterschiede, und eventuell größte Unterschiede bedeuten. Aber zu Gegensätzen werden sie doch erst durch die starken Gefühlsgegensätze, die an sie geknüpft sind, und die, so abweichenden Empfindungssystemen die Gefühle angehören mögen, im allgemeinen immer wieder auf jene Grundformen der erregenden Gefühle und ihres Gegensatzes zurückführen, die sich dann allerdings mit den mannigfaltigsten andern Gefühlscomponenten verbinden können. Wo aber die Empfindungen ganz oder nahezu unvermischt den Gefühlston der Lust, Unlust oder der neutralen Gleichgültigkeit an sich tragen, wie die Druck-, die Schmerz-, die Geschmacks- und viele Geruchsempfindungen, da fehlt eben auch jene Einordnung der Empfindungen in ein Continuum, die zur Abstufung zwischen größten, nach entgegengesetzten Richtungen liegenden Unterschieden erforderlich ist.

Anders verhält sich endlich noch die dritte Dimension der Gefühle, die der Spannung und Lösung. Natürlich sind auch für ihre Entstehung, gerade so wie für die der Lust oder Unlust, die Qualitäten der Empfindung von wesentlicher Bedeutung. Aber wiederum sind sie es bei ihnen nicht in dem Sinne, dass sich ohne weiteres gewisse Empfindungen mit einem Spannungs-, andere, die demselben Empfindungs-

continuum angehören, mit einem Lösungsgefühl verbänden. Vielmehr, wie der einer Empfindung anhaftende Lust- oder Unlustton immer erst unter der mitbestimmenden Wirkung der Empfindungsstärke zum Ausdruck kommt, so zwar, dass eventuell das gleiche Empfindungsquale je nach seiner Stärke von entgegengesetzter Gefühlsbetonung sein kann, gerade so kann ein und derselbe qualitative Inhalt der Empfindung ebensowohl Spannungs- wie Lösungsgefühle mit sich führen. Denn das für diese Gefühlscomponenten Bestimmende ist nicht die Intensität, sondern der zeitliche Verlauf der Empfindungen. Auf diese Weise kommt gerade in diesen eigenthümlichen Gefühlsformen dritter Art die große Bedeutung zur Geltung, die das Moment der Zeit überhaupt für die Eigenschaften der Gefühle besitzt.

Die Analyse der Gefühlstöne der Klangempfindungen, besonders auch in ihren Beziehungen zu der ästhetischen Verwendung der Klänge, ist fast noch ganz eine Aufgabe der Zukunft. Noch ist z. B. kein Versuch gemacht, über die instinctiv wirkenden Gefühlsmotive zureichende Rechenschaft zu geben, in Folge deren der Componist für den Ausdruck gewisser Stimmungen bestimmte musikalische Instrumente wegen ihres eigenthümlichen Klangcharakters bevorzugt, oder gar über den Wandel der Gefühle, der gewissen wechselnden Bevorzugungen zu Grunde liegt. Auch hier ist es aber natürlich die Analyse der Empfindungen, die der Analyse der Gefühle den Weg zeigt. So vermögen wir die Gefühlswirkungen der einzelnen musikalischen Instrumente wohl einigermaßen aus den Gefühlselementen ihrer dominirenden Klangbestandtheile, also der charakteristischen Obertöne, welche die Klangfärbungen bedingen, abzuleiten. Die eigenthümlichen Klangfärbungen der Viola und Clarinette z. B. sind namentlich dadurch bestimmt, dass wegen der Dimensionen der Resonanzräume und Ansatzröhren die ungeradzahligen Partialtöne vorzugsweise stark sind. Bei den Saiteninstrumenten steht es dagegen zum Theil in der Willkür des Spielenden, welche Obertöne er stärker will anklingen lassen, da dies von der Stelle abhängt, an welcher die Saite angeschlagen oder gestrichen wird[1]. Werden durch die Art des Anschlags

[1] Wird z. B. eine Saite an der Stelle angeschlagen, wo ihr erstes Drittel in das zweite übergeht, so kann sich an dieser kein Schwingungsknoten bilden, es fällt daher der zweite Oberton, der je 3 Schwingungen auf eine des Grundtons hat, hinweg, und ebenso werden die höheren ungeradzahligen Partialtöne schwächer. Wird die Saite dagegen in ihrer Mitte angeschlagen, so fällt der erste Oberton, die Octave des Grundtons hinweg, und die geradzahligen Partialtöne werden geschwächt. Wird die Saite nahe der Mitte angeschlagen, so klingen vorzugsweise die tiefsten Partialtöne mit, wird die Anschlagstelle möglichst an das Ende verlegt, so werden die hohen verstärkt. Bei den Streichinstrumenten sind darum die tiefen Partialtöne stärker, wenn man nahe dem Griffbrett, die hohen, wenn man nahe dem Stege streicht. Da im letzteren Fall zugleich die Klangstärke größer ist, so wird im allgemeinen für das Piano die erste, für das Forte die zweite Art des Bogenansatzes gewählt. Deshalb sind beim Forte der Violine die hohen Obertöne verhältnissmäßig viel stärker, das Piano nähert sich mehr dem einfachen Ton ohne Klangfarbe. Am Clavier ist die Anschlagstelle des Hammers so gewählt, dass der siebente Partialton (oder sechste Oberton) hinwegfällt; außerdem sind bei diesem Instrument

nur die geradzahligen Partialtöne hervorgehoben, so entsteht eine eigenthümlich leere und klimpernde Klangfarbe. Leer erscheinen beide Arten von Klängen, die mit ungeradzahligen wie die mit geradzahligen Partialtönen, wenn man sie mit dem vollen, abgerundeten Klang solcher Instrumente vergleicht, die, wie z. B. die Zungenpfeifen der Orgel, alle Obertöne in einer mit ihrer Höhe abnehmenden Stärke hervorbringen; daher auch jene in ihrer Klangfarbe einseitigen Instrumente hauptsächlich in der Orchestermusik zur Anwendung kommen, wo sie in begleitenden Klängen anderer Färbung ihre Ergänzung finden. Nicht minder ungenügend erscheinen uns bei dauernder Einwirkung solche musikalische Klänge, denen alle Obertöne fehlen, die also dem reinen Ton sich nähern, wie z. B. die der Labialpfeifen der Orgel, der Flöte. Sie eignen sich zwar durch ihre gleichmäßige Ruhe mehr als alle andern zur sinnlichen Grundlage einfacher Schönheit, aber es fehlt ihnen die Mannigfaltigkeit des Ausdrucks, die eine wesentliche Bedingung ästhetischer Wirkung ist. Jene ruhige Befriedigung des einfach Schönen kommt für uns vielmehr da erst zur vollen Geltung, wo sie sich aus dem Widerstreit mannigfacher Gemüthsbewegungen entwickelt. Daher bei Instrumenten mit scharf ausgesprochener Klangfarbe das Solospiel seinen größten Erfolg dann erringt, wenn es ihm gelingt, die Klangfarbe zu überwinden, indem es dem widerstrebenden Werkzeug den einfachen Ton entlockt. Aber diese Wirkung verschwindet, wo, wie bei der Flöte, das Instrument von selbst und in unveränderlicher Weise die einfachen Töne hervorbringt. Die Alten scheinen in dieser Beziehung anders gefühlt zu haben als die Neueren: ihnen war die Flöte das preiswürdigste Instrument, uns gilt die Violine als die Königin der Instrumente. Bei ihr treffen alle Bedingungen zusammen, um sie zum Ausdrucksmittel der mannigfachsten Stimmungen zu befähigen: bedeutender Umfang der Tonhöhen, größte Abstufung der Klangstärke, verbunden mit der Möglichkeit, den Ton langsam oder rasch an- und abschwellen zu lassen, endlich die verschiedensten Schattirungen der Klangfärbung je nach Ort und Art des Anstrichs. Kein Instrument vermag daher so unmittelbar wie sie der Gemüthsbewegung des Spielers zu folgen.

Das Eigenthümliche der Klangwirkung liegt demnach überhaupt darin, dass in ihm die Stimmung, die mit dem Tone verbunden ist, bald dadurch gehoben wird, dass sich die nächsten Obertöne zum Grundton hinzugesellen, bald aber auch durch die Verbindung mit verschieden hohen Obertönen modificirt wird: so z. B. indem sich bei der Verbindung hoher Obertöne mit tiefen Grundtönen contrastirende Elementargefühle zu eigenthümlichen Stimmungen vereinigen. Nimmt man dazu noch die von der abweichenden Tonstärke herrührenden Unterschiede, so ergibt sich eine Reihe sich durchkreuzender Gegensätze, die man sich durch das in Fig. 232 dargestellte Schema veranschaulichen kann. Jedem dieser Ton- und Klanggegensätze entsprechen

---

die tiefen Noten von stärkeren Obertönen begleitet als die hohen, weil bei den letzteren die Anschlagstelle des Hammers im Verhältniss zur ganzen Saitenlänge nicht so nahe an das Ende fällt. Bei den Streichinstrumenten ist die Stärke der Partialtöne endlich noch wesentlich von der Resonanz des Kastens abhängig, dessen Eigenton einem der tieferen Töne des Instruments entspricht. Bei den hohen Noten wird daher in diesem Fall hauptsächlich der Grundton durch die Resonanz verstärkt, bei den tiefsten Tönen werden mehr die Obertöne gehoben. (Vgl. ZAMMINER, Die Musik und die musikalischen Instrumente. 1855, S. 12, 36.)

Contraste des Gefühls, die allmählich durch vermittelnde Zwischenstufen einem Indifferenzpunkt sich nähern, durch den sie in einander übergehen: den tiefen Tönen und Klangfarben zur linken Seite die ernsten, den hohen zur rechten die heiteren Stimmungen. Bei größerer Klangstärke sind alle Stimmungen mit einem gehobenen, energischen, bei geringerer mit einem gedämpften, sanften Gefühlston verbunden. Da sich zwischen den hier herausgegriffenen Strahlen alle möglichen Uebergänge denken lassen, so kann man sich vorstellen, alle durch die Klangfarbe bestimmten Gefühlstöne seien in einer Ebene angeordnet, deren eine Dimension, dem Continuum der einfachen Töne entsprechend, die Contraste von Ernst und Heiterkeit mit ihren Uebergangsstufen

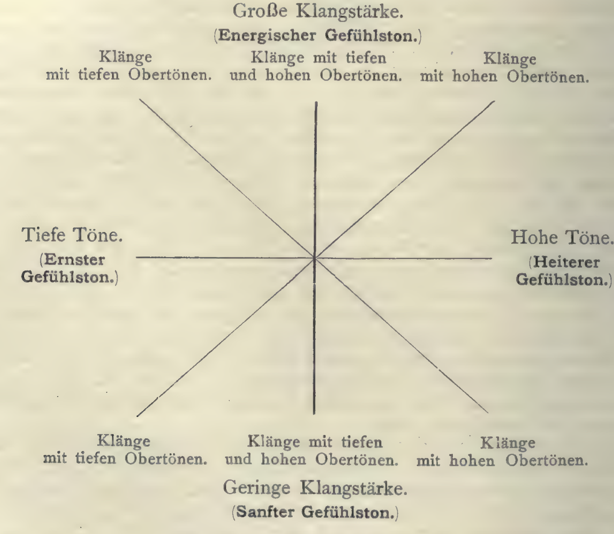


Fig. 232. System der Klanggefühle.

enthält, während die zweite, welche die Stärke der Theiltöne abmisst, die Gegensätze des Energischen und Sanften vermittelt. Mit diesen vier Ausdrücken möchten in der That die vier Elementargegensätze musikalischer Wirkung, so weit sie in Worten sich angeben lassen, bezeichnet sein. Wie auf solche Weise in die Gefühlswirkung der Klänge neben der Tonhöhe überall auch die Tonstärke eingreift, so lassen sich nun aber überhaupt diese Gegensätze nicht bloß einer Dimension des Gefühlscontinuums einordnen, sondern jedes einfache Gefühl enthält neben der erregenden oder beruhigenden noch eine Lust-Unlustcomponente von verschiedener Stärke, wie denn auch die sprachlichen Bezeichnungen, wie heiter, sanft, ernst u. s. w., im allgemeinen solchen gemischten Stimmungen entsprechen.

Die Reihe der Farbenempfindungen unterscheidet sich von der Tonreihe wesentlich dadurch, dass sie, wie sie eine in sich zurückkehrende Linie bildet, so auch zwei Uebergänge des Gefühlstones enthält, obzwar bei den Farben selbst, wie bei den Tönen, nur ein einziger Gegensatz der Stimmung existirt, der einerseits im Gelb, anderseits im Blau am stärksten ausgeprägt zu sein scheint: der Gegensatz der Lebhaftigkeit und der Ruhe, wie wir hier wohl am zutreffendsten die Contraste nennen. Dabei ist es eigenthümlich, dass wir uns gerade bei den Farben, bei denen doch die Bewegung oder zeitliche Dauer nicht in der Weise wie bei den Tönen für das Gefühl mitbestimmend wird, zu diesen von der Bewegung entliehenen Bezeichnungen gedrängt sehen. Zwischen dem Gelb und dem Blau gibt es aber zwei Uebergänge: einen durch das Grün, den andern durch die röthlichen Farbentöne, das eigentliche Roth, Purpur und Violett. Beide Uebergänge haben eine sehr verschiedene Bedeutung für das Gefühl. In dem Roth und den ihm verwandten Farben ist die Bewegung des Gelb und die Ruhe des Blau zu einem hin- und herwogenden Zustand der Unruhe geworden. Diese Vermittlung durch einen labilen, zwiespältigen Zustand ist am deutlichsten bei den blaurothen Farbentönen, wie beim Violett. Das Grün dagegen drückt ein stabiles Gleichgewicht aus. Gegenüber dem tief beruhigenden Blau und dem lebhaft erregenden Gelb verbreitet es eine gedämpfte Erregung. Für den Gefühlston hat so der doppelte Uebergang der Farbenreihe seine Bedeutung darin, dass der eine, der durch die Mischfarbe des Purpur, die Gegensätze zu einem dissonirenden Gefühle mischt, der andere, der durch das einfache Grün sie in ein harmonisches Gleichgewicht setzt. So hat auch diese doppelte Ausgleichung in einer allgemeinen Eigenthümlichkeit des Gefühls ihren Grund, die schon bei der Klangwirkung zur Geltung kommt: nämlich in der Existenz zwiespältiger oder dissonirender Gefühle. Zwischen je zwei Gegensätzen des Gefühls gibt es einen Indifferenzpunkt der Gleichgültigkeit; gewissen Gemüthszuständen ist es aber eigen, dass in ihnen das Gefühl fortwährend zwischen jenen Gegensätzen hin- und herschwankt. Es gibt vielleicht keine zwei Gefühlsgegensätze, zwischen denen nicht solche Zustände des labilen Gleichgewichts vorkommen. Aber hauptsächlich sind die Zustände dieser Art doch an solche Empfindungen gebunden, welche die Bedingungen zu einem Contrast des Gefühls unmittelbar in sich tragen. So geben unter den Klängen vorzugsweise jene einer zwiespältigen Stimmung Ausdruck, deren eigenthümliche Klangfarbe auf dem Nebeneinander tiefer Grundtöne und hoher Obertöne beruht. Aehnlich verhält es sich mit den Farbeneindrücken. Demnach gibt es zwar auch bei den Farben nur ein einziges qualitatives Gegensatzpaar; aber da zwischen den Gliedern dieses Gegensatzes zwei Uebergänge möglich sind, einer, der den Gegensatz in einem einfachen Zwischengefühl aufhebt, und ein zweiter, der ihn durch ein contrastirendes Gefühl vermittelt, so kann die Reihe der einfachen Gefühle hier nicht mehr durch eine gerade Linie, sondern nur durch eine geschlossene Curve dargestellt werden. Mit Rücksicht auf ihre Bedeutung als Uebergangsstimmungen wird hierbei dem Grün angemessen das Violett gegenüberzustellen sein, und es werden dem entsprechend Roth und Indigblau, Gelb und Blau einander gegenüberliegen; das Purpur hat in dieser Stimmungscurve der Farbentöne nur die Bedeutung eines Roth, das wenig durch Violett modificirt ist. Um die verschiedene Weise des Uebergangs von der Plus- zur Minus-

Seite anzudeuten, wählen wir wieder die Darstellung in einer dem Dreieck sich nähernden Figur: die gerade Grundlinie entspricht dem contrastirenden Uebergang durch Violett, der an Stelle der Spitze gelegene Bogen dem ruhigen Uebergang durch Grün (Fig. 233). Denken wir uns die den verminderten Sättigungsgraden der Farben bis zum Weiß entsprechenden Gefühle ähnlich angeordnet, so bilden sie alle zusammen die von der Farbencurve umschlossene Ebene, in welcher der Punkt des Weiß die indifferente Stimmung bezeichnet, wie sie die einfache, weder durch besondere Stärke oder Schwäche des Lichts noch durch einen Farbenton modificirte Lichtempfindung hervorbringt. Rings herum liegen die matteren und darum durch kürzere Uebergänge vermittelten Gefühlstöne der weißlichen Farben. Zu den Stimmungen, welche die Farben und ihre Sättigungsgrade hervorbringen, kommen dann noch die an die Intensitätsgrade des Lichts sich knüpfenden Gefühle. Zwischen den Gegensätzen des Hellen und Dunkeln, zwischen denen sie sich bewegen, gibt es nur den einen Uebergang durch eine mittlere Helligkeit, welcher der indifferenten Stimmung entspricht. Hier also liegen die gegensätzlichen Gefühle an den Enden einer Geraden. So bietet sich auch für die Gefühlstöne der Farben die Construction in einem körperlichen Gebilde, an dem Hell und Dunkel die beiden Endpole bilden. Ein einfacher Uebergang des Gefühls durch einen einzigen Indifferenzpunkt findet nur für die nicht von Farbentönen begleitete Lichtempfindung statt, die durch die Achse jenes körperlichen Gebildes dargestellt wird (vgl. Fig. 185, S. 162). Für jede Farbe gibt es also drei Uebergänge der Stimmung zu einer Farbe von entgegengesetztem Gefühlston: der harmonische durch das ruhige Grün, der contrastirende durch das zwiespältige Violett und der indifferente durch das gleichgültige Weiß. Zwischen den Gegensätzen der Helligkeit, dem ernsten Dunkel und dem heiteren Licht, die wieder in die Dimension der Lust-Unlustcomponenten hinüberreichen, gibt es dagegen nur den einen Uebergang durch das indifferente Weiß von mittlerer Helligkeit. Indem die Lichtstärke der Farben zu- oder abnehmen kann, können diese auch an den Gefühlstönen der Helligkeit Theil nehmen. Aber dabei vermindert sich in dem Maße als die Lichtstärke steigt oder sinkt der Umfang des innerhalb der Farbenreihe möglichen Stimmungswechsels, der harmonische und der contrastirende Uebergang rücken immer näher zusammen, bis mit der Erreichung des dunkeln oder hellen Pols der Empfindung das eigentliche Farbengefühl erlischt. Während sich demnach in der Ton- und Klangwelt alle Gefühle zwischen geradlinig gegenüberliegenden Gegensätzen bewegen, so dass selbst contrastirende Gefühle nicht als Vermittelungen, sondern immer nur an einem Ende eines Gegensatzes zu finden sind[1], bilden

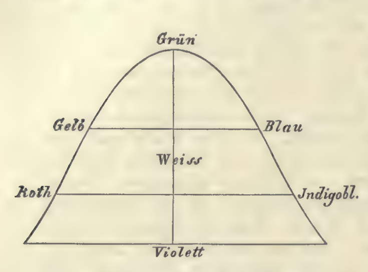


Fig. 233. System der Farbengefühle.

[1] Rechts unten in Fig. 232, bei den Klängen mit hohen Obertönen und von geringer Klangstärke.

bei den Lichtempfindungen nur das Helle und Dunkle ähnlich gegenüberstehende Pole, die aber, gemäß der doppelten Beziehung der Helligkeitsempfindungen zur Lichtintensität einerseits und zu den Farbenqualitäten anderseits, im allgemeinen zwei Gefühlscomponenten vereinigen: das Helle die Stimmungen der Lust und Erregung, das Dunkle die der Unlust und Depression. Für das Gefühl sind so die Gegensätze der Intensität des farblosen Lichtes den Gegensätzen der hohen und tiefen Töne am nächsten verwandt; wogegen Stimmungen, die den Klangfarben einigermaßen analog sind, vielmehr durch die einfachen Farben ausgedrückt werden. Die Namen Klangfarbe und Farbenton deuten dies an; denn diese doppelte Uebertragung zeigt, dass uns Klang und Farbe einander verwandt erscheinen. Auch darin besteht eine gewisse Analogie, dass man sich die Gefühlstöne der Klangfarben wie die der Farben und ihrer Sättigungsgrade in einer Ebene dargestellt denken kann, in deren Mitte irgendwo ein Indifferenzpunkt gleichgültiger oder neutraler Stimmung liegt, während sich nach der Peripherie hin die größten Gegensätze des Gefühls befinden. Aber die einfachen Töne bilden hier nicht, wie das Hell und Dunkel, eine neue Dimension, die erst zur Klangfläche hinzutritt, sondern die Hauptachse der letzteren. Denn der einfache Ton gehört zu jenen Klängen, die durch die größte Tiefe begleitender Obertöne sich auszeichnen: er bildet hier den Grenzfall, wo die Obertöne überhaupt verschwinden. Stärke und Schwäche des Klangs, Tiefe und Höhe des Tons bedingen so zunächst zwei Hauptpaare des Gegensatzes, die sich zu vier erweitern, wenn man die Hauptunterschiede der Klangfärbung, die Verbindung mit tiefen oder mit hohen Obertönen, in doppelter Lage hinzunimmt (Fig. 232). Denkt man sich die äußersten Punkte dieser Gegensätze durch eine geschlossene Curve vereinigt, so ist von jedem Punkt derselben, ähnlich wie von jedem Punkt der Farbencurve, ein dreifaches Fortschreiten möglich, vor- und rückwärts in der Peripherie der Klangcurve und gegen die Mitte hin. Die Stelle der contrastirenden Gefühle liegt aber bei denjenigen Klängen, die hohe und mäßig hohe Obertöne mit geringer Klangstärke verbinden. Dies hat darin seinen Grund, dass sich bei geringer Klangstärke die den entgegengesetzten Enden der Tonreihe zugehörigen Theiltöne deutlicher von einander sondern, und dass außerdem bei starken Klängen gleichsam die Unschlüssigkeit des Contrastes durch die Kraft des Gefühlstones überwunden wird. Uebrigens hat diese Darstellung der Klanggefühle, wie nicht übersehen werden darf, in höherem Grade eine bloß symbolische Bedeutung als die der Farbengefühle, weil sich die letztere unmittelbarer an das System der Empfindungen anschließt. Auch lassen solche Analogien des Gefühls natürlich nicht die geringsten Schlüsse über die physiologische oder gar die physikalische Natur der Farben und Klänge zu. Der Aristotelischen, von GOETHE wieder erneuerten Farbenlehre, wonach die Farben aus der Vermischung von Hell und Dunkel in verschiedenen Verhältnissen entstehen sollen, lag wohl neben anderem auch eine derartige Verwechselung zu Grunde. Für unser Gefühl ist in der That Hell und Dunkel das Einfachere, die Farbe das Zusammengesetztere, denn die Gefühle, welche die letztere wachruft, zeigen mannigfachere Uebergänge zu Gefühlen von entgegengesetzter Beschaffenheit. Aber dies rührt eben von der eigenthümlichen Form des Farbencontinuums her, aus der jener dreifache Uebergang der Farbenstimmung unmittelbar hervorgeht.

d. Zeitlicher Verlauf der einfachen Gefühle.

Mit dem unablässigen Kommen und Gehen aller Bewusstseinsinhalte verändern sich auch fortwährend die Gefühle. Hier, wie bei den Beziehungen des Gefühlstones zu den Grundeigenschaften der Empfindungen, ist dieser Gefühlswechsel dann unter den einfachsten Bedingungen unserer Beobachtung gegeben, wenn wir ihn in seiner Abhängigkeit von dem zeitlichen Wechsel einfacher Empfindungen ins Auge fassen. Denn unter dieser Bedingung sind jedenfalls auch die beobachteten Gefühle einfach und lassen sich demnach in der oben eingeführten Bedeutung des Wortes als »Gefühlstöne« der Empfindungen betrachten. Die unter diesem dritten Gesichtspunkt, dem der zeitlichen Dauer, sich erhebende Frage lautet aber dann: wie ändert sich der Gefühlston mit der Zeit, während deren eine Empfindung gleichmäßig andauert, und welchen Einfluss hat umgekehrt der zeitliche Wechsel der Empfindungen auf den Gefühlston?

Nun muss zunächst jede Empfindung, wenn sie ein Gefühl von merklicher Größe hervorrufen soll, eine gewisse Zeit dauern. Diese Zeit ist bei starken Empfindungen kürzer als bei schwachen, und sie ist außerdem in wechselnder Weise von der Qualität abhängig. Anderseits verändert jede Empfindung bei längerer Einwirkung auf das Bewusstsein ihren Gefühlston. Insbesondere kann die Lust-Unlustcomponente dabei ganz dieselben Veränderungen erfahren, die auch die Steigerung der Intensität mit sich führt: der anfänglich lusterregende Eindruck wird zuerst gleichgültig, dann unangenehm. Am deutlichsten lassen sich diese Uebergänge wieder bei Geruchs- und Geschmacksreizen verfolgen, wo sie auch an den respiratorischen und vasomotorischen Symptomen manchmal auf das schönste zu verfolgen sind. Doch treten sie bei der gleichförmig dauernden Einwirkung von Farben, Tönen ebenfalls hervor. Diese Abhängigkeit der Lust-Unlustgefühle von der Zeit ließe sich also durch eine ähnliche Curve wie die Beziehung zur Intensität versinnlichen (Fig. 231).

Nicht in gleicher Weise, jedenfalls nicht gleich ausgesprochen verhält es sich mit den Gefühlen der Erregung und Beruhigung. Zwar der allgemeinen Tendenz zum Wechsel der Gemüthslage, der sich kein Gefühl entzieht, und die mit der analogen Neigung der physischen Symptome nach allmählicher Ausgleichung und gelegentlicher Uebercompensation verbunden ist, sind auch sie unterworfen. Namentlich die erregenden Gefühle sind selten von langer Dauer, oder, wo dies vorkommt, da finden sich mindestens Perioden der Remission zwischen den einzelnen Erregungsphasen. Länger können die beruhigenden Gefühle anhalten; aber die dann und wann eintretende Unterbrechung durch Pausen der Gleichgültigkeit

ist doch auch in diesem Fall nicht zu verkennen. Zudem entstehen solche dauernde Stimmungen weniger in Folge der Wirkung äußerer Eindrücke, als aus inneren, in der ganzen Disposition des Bewusstseins liegenden Bedingungen, so dass diese Erscheinungen bereits in das Gebiet der zusammengesetzten Gefühle und Stimmungen hinüberführen. Allgemein lässt sich daher bei diesen Gefühlscomponenten nur constatiren, dass die längere zeitliche Dauer mit Abstumpfung des Gefühls verbunden ist, ebenso wie die dauernde Empfindung mit Ermüdung, nicht aber dass sie, wie bei den Lust-Unlustcomponenten, irgendwie regelmäßig einen Uebergang in die entgegengesetzte Gefühlsphase mit sich bringt.

Hier stellt sich nun aber beiden Gefühlsdimensionen die dritte, die der Spannungs- und Lösungsgefühle als eine in ihrem Verhalten zu dem zeitlichen Ablauf der Empfindungen durchaus eigenartige gegenüber. Dies hängt augenscheinlich mit der specifischen Natur dieser Gefühle zusammen, die auch den Begriff des »Gefühlstones« nicht in dem Sinne, den er bei den andern Gefühlscomponenten besitzt, auf sie anwendbar macht. Dass ein Spannungs- oder ein Lösungsgefühl an irgend eine einzelne Empfindung auch nur in annähernd regelmäßiger Weise gebunden wäre, wie etwa an den bitteren Geschmack des Chinin die Unlust oder an den Farbeneindruck des Roth die Erregung, davon kann überhaupt nicht die Rede sein. Nicht als ob jene Gefühle empfindungsfrei wären: das sind sie in Wahrheit ebenso wenig wie irgend welche andere Gefühle. Aber die begleitenden Empfindungen verhalten sich schon darin eigenartig, dass sie einem ganz bestimmten Sinnesgebiet, dem der inneren Tastempfindungen (S. 19) angehören, wobei diese übrigens außerdem, wie alle andern Empfindungen, die Substrate von Lust- und Unlust-, von erregenden und deprimirenden Gefühlen sein können. Während diese aber durchaus zur Gefühlsbetonung der Empfindungen, ganz in der auch sonst für die Beziehung zwischen Empfindung und Gefühl geltenden Bedeutung gehören, verhält sich das wesentlich anders bei Spannungs- und Lösungsgefühlen: hier erscheint nicht das Gefühl als eine Wirkung, die einer bestimmten Empfindung anhaftet, sondern Empfindung und Gefühl sind vollkommen coordinirte Erscheinungen eines bestimmten seelischen Vorgangs, nämlich jenes Vorgangs der Apperception, den wir als maßgebend bei jeder Auffassung und Vergleichung von Empfindungen kennen lernten. (Vgl. Bd. 1, S. 320, 541.) Die Spannungsgefühle und die Spannungsempfindungen sind die unmittelbaren Bewusstseinsinhalte, die diesen Vorgang oder Zustand kennzeichnen. Dabei ist aber das Gefühl wieder der für denselben vorzugsweise charakteristische, wesentlichere. Denn wenn auch die Spannung und Entspannung der Aufmerksamkeit niemals ohne die entsprechenden, namentlich in den Muskelgebieten der Sinnesorgane

auftretenden Spannungsempfindungen vorkommt, so ist doch das Verhältniss der Gefühle zu den Empfindungen in diesem Fall in höchst augenfälliger Weise dadurch gekennzeichnet, *dass es einen Apperceptionsact ohne Spannungsgefühle überhaupt nicht gibt, dass aber Spannungsempfindungen, die ganz und gar den bei jenem Act beobachteten gleichen, auch ohne ihn in Folge sonstiger Bewegungs- oder Spannungszustände der betreffenden Muskeln vorkommen können*. Darum sind uns die Spannungs*gefühle* die primären subjectiven Symptome jener Bewusstseinszustände, die wir eben nach dieser ihrer subjectiven Seite als »Aufmerksamkeitszustände« bezeichnen, und deren psychische Erfolge in der Apperception, d. h. nach der früher (Bd. 1, S. 322) gegebenen elementaren Definition dieses Begriffs, in dem »Klarerwerden« irgend eines Bewusstseinsinhaltes unter gleichzeitiger Hemmung anderer Inhalte besteht. Eine secundäre Begleiterscheinung dieser Zustände sind dann erst die Spannungs*empfindungen*. Sie sind aber nicht secundär in dem Sinne, dass sie etwa erst nachträglich, nachdem die Spannungsgefühle schon da sind, zur Beobachtung kämen, sondern in dem andern, dass sie zwar ebenfalls regelmäßige Componenten der sogenannten Aufmerksamkeit sind, dass sie aber nicht ausschließlich als solche Componenten, sondern auch noch bei mannigfachen andern Gelegenheiten, die zu Muskelspannungen Anlass geben, vorkommen. Es braucht kaum noch besonders darauf hingewiesen zu werden, wie sich aus diesem Verhältniss die Thatsache erklärt, dass man gerade die Spannungsgefühle so lang übersehen hat, indem man sie eben vollständig in den Spannungsempfindungen aufgehen ließ. Dass das falsch ist, ergibt sich aber zwingend aus der Analyse der Aufmerksamkeitsvorgänge, besonders wenn man die Eindrucks- und die Ausdrucksmethode gleichzeitig zu Hülfe nimmt. Der Eindruck, der einen Aufmerksamkeitsvorgang auslöst, hat nach seiner unmittelbaren subjectiven Beschaffenheit wie nach seinen Wirkungen einen ganz andern Charakter als ein Eindruck, der bloß Spannungsempfindungen auslöst. Nicht nur fehlt im letzteren Fall das subjective Gefühl, das wir eben »Aufmerksamkeit« zu nennen pflegen, sondern es fehlt auch durchaus jene Elementarwirkung, die in dem »Klarerwerden« eines Bewusstseinsinhaltes ihr specifisches, von Intensitäts- und Qualitätsänderungen der Empfindung wesentlich abweichendes Merkmal hat. Aber auch die objectiven respiratorischen und vasomotorischen Erscheinungen, die für die Aufmerksamkeitsvorgänge so überaus kennzeichnend sind, fehlen durchaus bei solchen reinen Spannungsempfindungen, wie sie gelegentlich zur Beobachtung kommen. Freilich ist nicht zu vergessen, dass Aufmerksamkeitsprocesse sehr leicht durch Sinneseindrücke irgend welcher Art ausgelöst werden, weil ja die Apperception

der Empfindung kein Vorgang ist, den wir in der Wirklichkeit irgendwie willkürlich von der Empfindung trennen können. In dem von selbst sich bietenden Wechsel der Bewegungen und Stellungen unseres Körpers bieten sich jedoch Fälle für sich allein bestehender Spannungsempfindungen nicht selten unserer Beobachtung.

Nach allem dem ist hier das Verhältniss zwischen Gefühl und Empfindung gewissermaßen das umgekehrte wie bei den andern Gefühlscomponenten. Sind dort die Gefühle an die Empfindungen, so sind in diesem Fall vielmehr die Empfindungen an die Gefühle gebunden, sofern wir trotz der Gleichzeitigkeit dieser Erscheinungen die Gefühle und nicht die Empfindungen hier als die specifischen, für die Aufmerksamkeitsvorgänge charakteristischen Elemente ansehen müssen. Da aber beide gerade bei der Apperception nie getrennt von einander vorkommen, so bilden sie auch in dieser ihrer engen Verbindung für uns ein unmittelbares Maß für den Eintritt und die Stärke derselben, und der Bewusstseinsinhalt, den wir bei dem Wort »Spannung der Aufmerksamkeit« meinen, ist, psychologisch in seine Elemente zergliedert, eben immer beides zugleich: ein Spannungsgefühl und eine dieses Gefühl begleitende Spannungsempfindung.

So haben denn auch die beiden gegensätzlichen Gefühle der Spannung und Lösung ihre objectiven Aequivalente in den Empfindungen der eintretenden und dauernden Muskelspannung und ihrer Lösung. Gerade bei der Lösung tritt aber wiederum deutlich zu Tage, dass der Gefühlsprocess ein specifischer, von der Empfindung wesentlich verschiedener ist. Während die Empfindungsseite des Vorgangs lediglich in dem Nachlassen der zuvor vorhandenen positiven Spannungsempfindung besteht, ist das Lösungsgefühl ein höchst ausgeprägter positiver Gefühlszustand, wie er sich denn auch schon bei einfachen Versuchsbedingungen in sehr entschiedenen respiratorischen und vasomotorischen Symptomen zu erkennen gibt (S. 292 ff.). Doch sind es hauptsächlich die etwas zusammengesetzteren Aufmerksamkeitsacte, die zugleich einen geschlossenen Umkreis intellectueller Processe umfassen, bei denen Spannung und Lösung als contrastirende Vorgänge einander ablösen. Einfache Empfindungsreize, die vorübergehend die Aufmerksamkeit erregen, pflegen zwar subjectiv wie objectiv deutlich die Spannungssymptome auszulösen; doch können diese auch ohne einen merklichen Uebergang in die entgegengesetzte Phase wieder schwinden. Anderseits ist aber zu bemerken, dass selbst da, wo besondere, durch bestimmte objective Eindrücke verursachte Apperceptionsprocesse nicht vorliegen, doch die allgemeine Disposition der Aufmerksamkeit einem fortwährenden Wechsel unterworfen ist, der gerade dann sehr regelmäßig vor sich zu gehen pflegt, wenn besondere, in

bestimmten objectiven Momenten begründete Erregungen fehlen. Diese »Schwankungen der Aufmerksamkeit«, die wir später als ein reguläres Bewusstseinsphänomen bei relativ gleichförmig andauernden Bewusstseinszuständen kennen lernen werden, sind nun mit fortwährenden Oscillationen der Spannungs- und Lösungsgefühle und der sie begleitenden Empfindungen verbunden, Oscillationen, die auch in den physischen Symptomen, namentlich den respiratorischen, deutlich sich aussprechen[1].

Diese Beobachtungen zeigen, dass die Spannungs- und Lösungsgefühle gegenüber den andern Componenten insofern eine abweichende Stellung einnehmen, als sie an den centraleren Bestandtheil jener einfachen Bewusstseinsvorgänge gebunden sind, deren subjective Complemente die einfachen Gefühle bilden. Während die andern Componenten wesentlich an Intensität und Qualität der Bewusstseinsinhalte geknüpft und daher zunächst und vor allem mit diesen veränderlich sind, bilden die Spannungs- und Lösungsgefühle Bestandtheile der Apperception jener Inhalte oder des Aufmerksamkeitsfactors, der stets in sie eingehen muss, wenn sie überhaupt merklich sein sollen. Dabei ist aber wiederum zu bedenken, dass dieser Aufmerksamkeitsfactor kein von den übrigen Bestandtheilen zu sonderndes Gebilde, sondern eben immer ein in das Ganze des Erlebnisses eingehender Factor ist, den die psychologische Analyse nur scheiden darf, um sich dabei zugleich seiner unauflöslichen realen Zugehörigkeit zu dem Wirklichen bewusst zu bleiben. In diesem Sinne haben uns ja bereits die aus Anlass des WEBER'schen Gesetzes gemachten Erfahrungen gelehrt, dass es für uns nur appercipirte Empfindungen gibt, und dass wir höchstens nachträglich im stande sind, mittelst der wechselnden Bedingungen, die wir der Auffassung und Vergleichung der Empfindungen stellen, Rückschlüsse auf das Verhalten der reinen Empfindungen als solcher, nach Abstraction von jenen immer mit ihnen verbundenen Bedingungen ihrer Apperception zu machen. (Vgl. Bd. 1, S. 467.) So ist es denn auch wohl begreiflich, dass uns im Gebiet der Gefühle wiederum eine ähnliche Sonderung der Factoren des Geschehens begegnet, indem sich die allgemeinen Gefühlscomponenten in solche zerlegen, für die in erster Linie der Bewusstseinsinhalt selbst, in den einfachsten Fällen also die Empfindung nach ihrer Intensität und Qualität, und in andere, für welche die Apperception dieses Inhalts von entscheidender Bedeutung ist. Da aber Apperception und Aufmerksamkeit zeitlich sich entwickelnde Vorgänge sind, die zugleich in einer bestimmten zeitlichen Folge wechseln, indem jede Lösung eine vorangegangene

---

[1] MEUMANN und ZONEFF, Philos. Stud. Bd. 18, 1901, S. 51. Ueber die Schwankungen der Aufmerksamkeit vgl. unten Abschn. V.

Spannung fordert, und eine neue Spannung wiederum nur auf Grund vorangegangener Lösungen einsetzt, so sind diese Gefühlscomponenten enger als die übrigen an den zeitlichen Ablauf der Bewusstseinsvorgänge gebunden.

e. Das Contrastprincip der Gefühle.

Wir haben es in dem Vorangegangenen als eine wesentliche Eigenthümlichkeit der Gefühle kennen gelernt, dass sie sich zwischen Gegensätzen bewegen. Schon in der allgemeinen symbolischen Darstellung des Gefühlscontinuums hat dies seinen Ausdruck gefunden und bei der Analyse der einfachen Gefühle nach den allgemeinen Bedingungen ihrer Abhängigkeit von der Intensität, der Qualität und der Apperception der Empfindungen ist uns immer und immer wieder diese Eigenschaft entgegengetreten, wobei sie zugleich in jedem dieser Fälle mit einer andern Seite des Gefühls in Beziehung stand. Zeigte die Lust-Unlustcomponente ein Oscilliren, das, bei großen Abweichungen im einzelnen, sich doch durchgängig als eine Function der Empfindungsstärke erwies, so bot die Erregungs- und Beruhigungscomponente eine in erster Linie von der Empfindungsqualität ausgehende Functionsbeziehung, die sich aber wiederum in bestimmten Gefühlsgegensätzen bewegte, welche an größere oder größte Unterschiede der Empfindung geknüpft waren. Endlich die Spannungs- und Lösungscomponente bot einen analogen Gegensatz abermals in neuer Form, indem sich hier die Auffassung der Eindrücke und der mit dieser zusammenhängende zeitliche Verlauf der Bewusstseinsvorgänge von auf- und abwogenden Gefühlen bestimmt zeigte, deren Gegensätze mit bestimmt unterschiedenen allgemeinen Bewusstseinsvorgängen verknüpft waren, nämlich der eine, die Spannung, mit den Acten der sich vorbereitenden und vollziehenden Apperception der Empfindungen, der andere, die Lösung, mit der Vollendung dieses Vorganges.

Dieses Schweben zwischen Gegensätzen erscheint demnach als ein den Gefühlen als solchen eigenthümliches Geschehen, das mit andern, außerhalb der Gefühlserlebnisse liegenden Thatsachen, die sonst noch mit dem Namen »Contrast« belegt zu werden pflegen, offenbar unvergleichbar ist. Letzteres tritt schon darin hervor, dass, wo wir etwa auf die objectiven Inhalte des Bewusstseins jenen Ausdruck anwenden, alle Wahrscheinlichkeit dafür spricht, dass er in solchen Fällen auf der Gefühlsseite der Erscheinungen seinen Ursprung genommen habe. Wir können dies speciell im Hinblick auf die einfachsten Bewusstseinsinhalte, die Empfindungen, wie oben schon angedeutet, in dem Satze ausdrücken: für die Empfindung gibt es nur Unterschiede und in gewissen Grenzfällen größte Unterschiede; zu Gegensätzen werden aber diese

Unterschiede immer erst durch die begleitenden Gefühle oder mittelbar dadurch, dass wir die im Gefühl erlebten gegensätzlichen Stimmungen auf sie übertragen. Am offenkundigsten ist dieses Verhältniss bei der Intensität der Empfindung. Niemand kann zweifeln, dass ein starker und ein schwacher Schall an sich nur Unterschiede sind, zu deren Auffassung als Gegensätze weder in der Beschaffenheit der objectiven Reize, noch in der der reinen Empfindung als solcher irgend ein Grund vorliegt. Erst der Gefühlston stempelt diese Unterschiede zu Gegensätzen. Aber auch bei der Qualität der Empfindung ist dies nicht wesentlich anders. Ein hoher und ein tiefer Ton, die Farbe Grün gegenüber der Farbe Roth bezeichnen Unterschiede, die größer sind als die der zwischenliegenden Töne oder Farben. Auch das Schwarz und das Weiß sind, so lange wir sie als reine Empfindungen oder als gleichgültige Eigenschaften äußerer Objecte betrachten, nichts anderes als größte Unterschiede. Denn der Begriff des Gegensatzes im eigentlichen Sinne setzt zunächst als formales Merkmal voraus, dass man vom einen Glied des Gegensatzes durch eine Reihe sich vermindernder Grade zuerst zu einem Nullpunkt und dann von diesem aus wieder durch eine Reihe zunehmender Grade zu dem andern Glied des Gegensatzes gelangt. Zu diesem muss dann noch das reale Merkmal hinzutreten, dass die auf solche Weise durch einen Null- oder Indifferenzpunkt verbundenen Reihen auch inhaltlich unmittelbar als Gegensätze aufgefasst werden. Weder jenes formale noch dieses reale Merkmal trifft aber bei den reinen Empfindungen jemals zu. Dunkel und hell, hohe und tiefe Töne, complementäre Farben gehen durch continuirliche Zwischenstufen, nirgends durch einen Null- oder Indifferenzpunkt in einander über. Selbst wenn man von einer gegebenen Farbe zu ihrer Complementärfarbe nicht in der reinen Farbenlinie, sondern durch die ab- und zunehmenden Sättigungsstufen und das Weiß geht, so sind das vom Standpunkt der bloßen Empfindung aus lediglich qualitative Differenzen, nicht Gegensätze. Wer dunkel und hell, hoch und tief, grün und roth u. dergl. etwa unmittelbar als Gegensätze zu empfinden glaubt, der überträgt eben die Gefühlscontraste auf die Empfindungen und mittelst dieser auf die äußeren Objecte. Auch wo sich bei den Empfindungen sogenannte »Contrasterscheinungen« in der Weise geltend machen, dass eine Empfindung eine bestimmte andere erweckt, die wir dann ihre Contrastempfindung nennen, wie beim Farbencontrast der grüne den rothen Eindruck und umgekehrt, da handelt es sich im eigentlichen Sinne nur um größte Unterschiede, nicht um Gegensätze nach den formalen und realen Kriterien dieses Begriffs.

So führen denn diese Erwägungen zu dem allgemeinen Ergebniss, dass der Contrast, soweit er zunächst in unserer psychologischen und dann in unserer allgemeinen Erfahrung eine Rolle spielt, sein eigentliches und ursprüngliches Heimathsrecht nur im Bereich der Gefühle hat, und dass er überall, wo er sonst noch Verwendung findet, aus diesem seinem ursprünglichen Gebiet erst sei es absichtlich sei es unabsichtlich übertragen worden ist. Die Neigung zu dieser allerorten sich einstellenden Umwandlung größter oder auch nur großer Unterschiede in Gegensätze ist auf diese Weise selbst ein überaus sprechendes Zeugniss für die innigen Verbindungen, welche die Gefühle mit den sonstigen Bewusstseinsinhalten eingehen. Wie jedoch dieses Princip des Contrastes, das wir danach als das allgemeinste empirische Gefühlsprincip betrachten dürfen, mit der Natur der Gefühle als subjectiver seelischer Zustände zusammenhängt, diese Frage wird uns erst bei der Erörterung der Theorie der Gefühle beschäftigen können.

Neben dem hier dargelegten »Contrastprincip der Gefühle«, das lediglich die Thatsache ausdrückt, dass zu jeder Grundform derselben eine andere von entgegengesetzter Qualität vorkommt, gibt es noch zwei andere Anwendungen des Contrastbegriffs auf das gleiche Gebiet, die zunächst nicht Thatsachen, sondern Annahmen bezeichnen, denen man aber doch meist die Bedeutung von »Gesetzen« des Gefühlslebens zuschreiben möchte, indem man sie zugleich mit der erwähnten Thatsache in Beziehung bringt. Nach der einen dieser Annahmen soll ein Gefühl von bestimmter Richtung, also z. B. ein Unlustgefühl, die allgemeine »Tendenz« besitzen, in ein Gefühl der entgegengesetzten Richtung, also z. B. in ein Lustgefühl, überzugehen. Nach der andern sollen Gefühle entgegengesetzter Richtung verstärkend auf einander wirken, ein Lustgefühl soll also z. B. durch ein vorangegangenes Unlustgefühl »gehoben« werden. Nun ist es schon gewissermaßen eine unerlaubte Personification der Gefühle, wenn die erste dieser Annahmen den Gefühlen selbst irgend welche »Tendenzen« zuschreibt. Die deprimirenden und unlustvollen Stimmungen des Melancholikers haben durchaus nicht die Tendenz Lustgefühlen zu weichen; ebenso wenig wie die Lustgefühle, die man in den Zuständen psychischer Paralyse beobachtet, die Neigung zeigen in Unlust überzugehen. Nicht das Gefühl, sondern die psychophysische Anlage des Menschen ist es, die in solchen Fällen eine »Tendenz« in sich schließt. Wie aber diese hier darin bestehen kann, bei gewissen einseitigen Gefühlen zu beharren, so kann sie wohl auch einmal bei einer andern Persönlichkeit auf einen raschen Wechsel zwischen entgegengesetzten Stimmungen gerichtet sein. Ob das eine oder das andere häufiger vorkommt, lässt sich schwerlich mit Sicherheit feststellen. Nur die eine Eigenschaft führen die Gefühle wie alle andern Bewusstseinsinhalte mit sich, dass sie meist bei längerer Dauer an Energie abnehmen. Aber dabei ist die Gefühlsänderung doch so sehr mit den entsprechenden Aenderungen der andern psychischen Inhalte verknüpft, dass diese Erscheinung durchaus nicht als eine den Gefühlen specifisch zukommende Eigenschaft angesehen werden kann. Dennoch ist es nicht unwahrscheinlich, dass gewisse, in ihrer

beschränkten Sphäre richtige Beobachtungen zu jenem in dieser Allgemeinheit falschen Contrastprincip geführt haben. Es gibt nämlich allerdings Gefühle, die im normalen Verlauf der seelischen Vorgänge in Gefühle der entgegengesetzten Richtung überzugehen pflegen. Das thun sie dann freilich nicht, weil sie selbst eine »Tendenz« zu diesem Gegensatz in sich tragen, sondern weil eben der psychische Verlauf es so mit sich bringt. Das augenfälligste Beispiel dieser Art bilden die Spannungs- und Lösungsgefühle. Wenn man eine einfache Rechenaufgabe löst, so entsteht während dieser Arbeit ein Spannungsgefühl, das dann natürlicher Weise nach Erledigung der Aufgabe in das entgegengesetzte Gefühl, das der Lösung, übergeht. Eventuell kann sich auch mit dem ersteren noch ein Unlust-, mit dem letzteren ein Lustgefühl verbinden, so dass sich nun der Verlauf zwischen zwei Gegensätzen zugleich abspielt. Aehnlich bringt, wie wir später sehen werden, der normale Verlauf eines einfachen Willensvorgangs eine Aufeinanderfolge entgegengesetzter Gefühlsphasen mit sich. So lange wir uns in dem Stadium der Vorbereitung der Handlung, des Strebens befinden, sind die Gefühle wesentlich andere, als nachdem die Handlung ausgeführt, das Erstrebte erreicht ist, und zum Theil bestehen auch diese Unterschiede in Gefühlscomponenten von contrastirender Art[1]. Das sind aber Erscheinungen, die in der Beschaffenheit gewisser zusammengesetzter seelischer Vorgänge, nicht im geringsten in der ursprünglichen Natur der einfachen Gefühle ihren Grund haben.

Nicht minder lässt sich bezweifeln, ob das zweite angebliche Contrastgesetz, wonach entgegengesetzte Gefühle einander verstärken sollen, ein den Gefühlen specifisch zukommendes oder gar ein auf diesem Gebiete allgemein geltendes Princip sei. Die für dasselbe geltend gemachten physiologischen und psychophysischen Gesichtspunkte sind, wie W. Wirth[2] mit Recht bemerkt hat, schon deshalb verfehlt, weil sie von vornherein theils von falschen Analogien mit dem Farbencontrast, theils von zweifelhaften psychophysischen Hypothesen über die Natur der Gefühle ausgehen, statt vor allem unbefangen die Thatsachen zu prüfen. Eine solche Prüfung zeigt nun in vielen Fällen, dass eine wechselseitige Verstärkung überhaupt nicht zu beobachten ist, oder dass sie, wo sie vorzukommen scheint, wohl auf nebenhergehenden Bedingungen beruht. So wird man z. B. annehmen dürfen, dass das lustvoll erhöhte Lebensgefühl des Reconvalescenten nicht sowohl auf einer Vergleichung mit den Schmerzen seiner vorangegangenen Krankheit, als vielmehr darauf beruht, dass der körperliche Zustand selbst direct erhöhte Lustgefühle mit sich führt. Wiederum sind es aber auch hier gewisse complexe Gefühlsvorgänge, bei denen in einem bestimmten Verlauf entgegengesetzte Gefühle einander ablösen, was in diesem Falle wohl zu einer falschen Verallgemeinerung geführt hat. Dahin gehören vor allem die Spannung der Erwartung und ihre Lösung durch die erfüllte Erwartung sowie die analogen Gefühle, die dem Wechsel der Affecte des Spiels zu Grunde liegen. Für diese zumeist dem Gebiet der ästhetischen Gefühle angehörenden Erscheinungen wird man in der That nicht umhin können, dem Princip der Contrastverstärkung seine Berechtigung zuzugestehen. Aber hier handelt es sich wiederum nicht um eine primäre Eigenschaft der Gefühle, sondern um eine solche gewisser zusammen-

---

[1] Vgl. unten Abschn. IV.

[2] W. Wirth, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 18, 1898, S. 74 ff.

gesetzter Gemüthsbewegungen. Bei diesen wird daher auf die relative Bedeutung des genannten Princips zurückzukommen sein[1].

4. Verbindungen der einfachen Gefühle.

a. Partialgefühle und Totalgefühle.

Von Philosophen wie Psychologen pflegt die Dunkelheit des Gefühls als eine besondere, es namentlich von allen intellectuellen Bewusstseinsinhalten unterscheidende Eigenschaft angesehen zu werden. HEGEL hat dem in seiner bekannten Definition, Gefühl sei »das dumpfe Weben des Geistes in sich«, insofern einen sprechenden Ausdruck gegeben, als hier die Definition selbst ein vortreffliches Bild undurchdringlicher Dunkelheit ist. Wenn es aber irgend etwas gibt, was diese Dunkelheit oder, wie wir es vielleicht exacter ausdrücken können, diese Schwierigkeit und oft Unmöglichkeit einer Analyse des Gefühls psychologisch verständlich macht, so ist das eine Eigenschaft, von der in der bisherigen Betrachtung geflissentlich abstrahirt wurde, und auf die in diesem von den Gefühlselementen handelnden Capitel überhaupt nur insoweit eingegangen werden soll, als es zur allgemeinen Charakterisirung der Gefühle unerlässlich scheint. Diese Eigenschaft besteht darin, dass alle in einem gegebenen Moment im Bewusstsein vorhandenen Gefühlselemente sich zu einer einheitlichen Gefühlsresultante verbinden. Zwar pflegen sich innerhalb eines bestimmten Sinnesgebiets die gleichzeitig gegebenen Empfindungen ebenfalls mehr oder minder fest zu einem Ganzen zu vereinigen: so die gleichzeitigen Klänge zu einem Zusammenklang, die gleichzeitigen Lichteindrücke entweder zu einer einzigen gegenständlichen Vorstellung oder mindestens zu einer Anzahl räumlich verbundener Objectsvorstellungen, u. s. w. Aber ein Tast- und ein Gesichtseindruck, ein gesehener Gegenstand und ein gehörter Klang können relativ unabhängig in unserem Bewusstsein neben einander bestehen, wenn sie auch, wie wir sehen werden, nur dann annähernd mit gleicher Deutlichkeit appercipirt werden, wenn sie sich zu einer einheitlichen Objectsvorstellung vereinigen. Doch dabei kommt immer schon jener auf das engste an die Apperception gebundene Gefühlsprocess zur Geltung, dem wir oben bei den Spannungs- und Lösungsgefühlen begegnet sind[2]. Von dieser, selbst wohl mit den Gefühlsprocessen zusammenhängenden unificirenden Natur der Aufmerksamkeit abgesehen scheint daher das Bewusstsein nach seiner Vorstellungsseite in jedem Augenblick von

[1] Vgl. Abschn. IV, Cap. XVI.

[2] Vgl. oben S. 286, und hinsichtlich der Eigenschaften der Apperceptionsvorgänge unten Abschn. V.

einer Mannigfaltigkeit disparater Inhalte erfüllt zu sein, die eben nur deshalb in letzter Instanz wieder zusammenhängen, weil jeder irgend einen Grad von Gefühlsbetonung mit sich zu führen pflegt, durch die er sich jenem Princip der Verbindung der Gefühlselemente unterordnet.

Nach diesem Princip, das wir hiernach als das Princip der Einheit der Gemüthslage bezeichnen können, bestehen niemals zwei Vorstellungsbestandtheile, mögen sie als solche noch so disparat und unabhängig sein, neben einander, ohne dass sich ihre Gefühlselemente zu einem resultirenden Gefühl verbinden. Man erkennt unschwer, dass dieses Princip der Einheit der Gemüthslage unmittelbar mit jener Grundeigenschaft der Gefühle zusammenhängt, wonach diese, so verschieden ihr Ursprung und ihre Vorstellungsbeziehungen sein mögen, stets einem und demselben Gefühlscontinuum angehören. Wie jene dreidimensionale, in sich stetig zusammenhängende Mannigfaltigkeit die Ordnung und Wechselbeziehung der einfachen Gefühle zu einer durchaus einheitlichen macht, im Gegensatze zu den disparaten Systemen der Empfindungen, so ermöglicht sie demnach auch wiederum die ein Correlat zu diesen Wechselbeziehungen bildende Eigenschaft eines jeden Gefühls, sich mit den gleichzeitig vorhandenen anderweitigen Gefühlen zu einer einheitlichen Gefühlsresultante zusammenzuschließen. Nicht als ob diese neue Eigenschaft aus jener Bedingung der elementaren Ordnung ohne weiteres entspränge. An sich würde es ja durchaus nicht undenkbar sein, dass die Elemente des einheitlichen Gefühlscontinuums, insofern sie verschiedene Stellen in diesem einnehmen, auch im Bewusstsein eine Sonderexistenz führen könnten. Wohl aber wird man umgekehrt sagen dürfen, ohne diesen Zusammenhang in einem einheitlichen Continuum, der eben die allgemeine Verwandtschaft der elementaren Gefühle trotz ihres noch so verschiedenartigen Ursprungs zum Ausdruck bringt, würde jenes Princip der Einheit nicht wohl denkbar sein. In diesem Sinne ist daher dieses letztere Princip allerdings eine neue psychologische Thatsache, die nach der Seite der Gefühlsverbindungen die in der Einordnung der einfachen Gefühle in eine und dieselbe Mannigfaltigkeit sich kundgebende Eigenschaft zu einer vollständigeren Charakterisirung der Natur des Gefühlslebens ergänzt.

Weiterhin lehrt nun aber die psychologische Beobachtung, dass die auf solche Weise gemäß dem Princip der Einheit sich verbindenden einfachen Gefühle wechselweise jedes einzelne durch die andern, und dass sie alle durch ihre gemeinsame Resultante modificirt werden. Das hauptsächlich Charakteristische dabei ist, dass die einzelnen einfachen Gefühle entweder überhaupt nicht mehr als gesonderte Bestandtheile des Ganzen unterschieden werden, sondern nur zu der eigenthümlichen Gefühlsfärbung

des letzteren mit beitragen, theils wenigstens gegenüber dem Gesammteindruck zurücktreten, so dass sie zwar in andern Gefühlscomplexen als die nämlichen Elemente wiedererkannt werden können, jedoch jedesmal durch die wechselnden begleitenden Elemente eine andere Färbung empfangen und sich unter allen Umständen dem Gefühlscharakter des Ganzen, in das sie eingehen, unterordnen. Durch diese Eigenschaften schließen sich die Gefühlsverbindungen auf das engste an jene Empfindungsverbindungen an, die wir zwischen den Elementen eines und desselben Sinnesgebietes beobachten können, wo ja ebenfalls die Bedingung einer continuirlichen Mannigfaltigkeit erfüllt zu sein pflegt. Insbesondere bieten hier die im vorangegangenen Capitel besprochenen gleichzeitig gegebenen Tonempfindungen die nächste Analogie zu den Gefühlsverbindungen. Dies spricht sich vor allem auch darin aus, dass einzelne Gefühlselemente gegenüber andern zurücktreten, die die Rolle der dominirenden übernehmen. Auf diese Weise bilden die Gefühlsverbindungen einen neuen, durchaus charakteristischen Fall jener psychischen Verbindungsprocesse, die wir eben im Hinblick auf die hier hervorgehobenen Eigenschaften mit dem Namen der Verschmelzungen belegt haben. Die Gefühlsverschmelzungen zeigen aber dabei gewisse Besonderheiten, die durchgängig mit jenem Princip der Einheit der Gemüthslage zusammenzuhängen scheinen, das oben als eine wesentliche Eigenschaft des gesammten Gefühlslebens hervorgehoben wurde.

Nun muss die nähere Analyse der Gefühlsverschmelzungen, da sie zu den besonderen Eigenschaften der einzelnen Formen zusammengesetzter Gefühle in engster Beziehung steht, selbstverständlich der Betrachtung der letzteren überlassen bleiben. Nur die allgemeinen Principien, die für die Structur zusammengesetzter Gefühle überhaupt maßgebend sind, mögen hier, als wesentlich zur Charakterisirung der allgemeinen Eigenschaften der Gefühle, hervorgehoben werden. Dahin gehört vor allem, dass jene Verbindung einzelner Gefühle zu einer einheitlichen Gefühlsresultante keineswegs im Sinne einer gleichförmigen additiven Verknüpfung oder Summirung der Elemente stattfindet, bei der etwa nur die schwächeren und minder merklichen durch die stärkeren, merklicheren zurückgedrängt würden. Vielmehr ist jeder durch eine solche Zusammensetzung gebildete Gefühlscomplex im allgemeinen wieder eine wohlgeordnete einheitliche Mannigfaltigkeit, deren einzelne Glieder jedoch durch die eingetretene Verschmelzung ihre Selbständigkeit mehr oder weniger vollständig eingebüßt haben. Bezeichnen wir, um die Begriffe zu fixiren, jene einheitliche Resultante aller in einem gegebenen Moment vorhandenen Gefühlswirkungen als das Totalgefühl, die einzelnen Gefühle, die dessen Bestandtheile bilden, als die Partialgefühle, so besteht

demnach die Eigenthümlichkeit der Gefühlsstructur darin, dass die einfachen Gefühle, die stets die letzten Elemente einer solchen Verbindung darstellen, nicht unmittelbar einander coordinirt sind, sondern dass in der Regel zunächst eine Anzahl einfacher Gefühle zu einem nächsten Partialgefühl sich vereinigt, welches seinen constituirenden Elementen gegenüber als relatives Totalgefühl betrachtet werden kann, selbst aber doch erst eine Componente des eigentlichen und definitiven Totalgefühls ist. Der allgemeine Begriff der Gefühlsverschmelzung beruht also darauf, dass die einfachen Gefühle eine stufenweise Ordnung bilden, indem sie sich zuerst zu Partialgefühlen erster, dann diese zu solchen zweiter Ordnung verbinden, woran sich eventuell bei sehr verwickelt constituirten Gefühlen, z. B. bei den höheren ästhetischen Gefühlen, noch eine unbestimmte Reihe weiterer Ordnungen anschließen kann. Auf diese Weise setzt sich das Verhältniss der drei Gefühlscomponenten, in die sich die einzelnen einfachen Gefühle zerlegen lassen, gewissermaßen in die weiteren Verbindungen fort, zu denen hinwiederum die einfachen Gefühle zusammentreten. In diese weiteren Verbindungen gehen dann die einfachen Gefühle selbst, endlich in das Totalgefühl die verschiedenen Ordnungen zusammengesetzter Partialgefühle als nächste Componenten ein. Gleichwohl besteht der wesentliche Unterschied, dass die einfachen Gefühle in Wirklichkeit einfache, nur durch psychologische Analyse und Abstraction zerlegbare seelische Zustände sind, wie ihnen denn auch einfache, unmittelbar nicht weiter zerlegbare Vorstellungsinhalte des Bewusstseins entsprechen, wogegen ein zusammengesetztes Partialgefühl, das als Componente in irgend ein complexeres Gefühl eingeht, schon aus mehreren einfachen Gefühlen besteht, in diese letzteren also insofern wirklich zerlegt werden kann, als die einfachen Gefühle selbst als reale Inhalte des Bewusstseins vorkommen können. So ist z. B. das einfache Gefühl, das einem einzelnen musikalischen Ton *c* zukommt, und das wir etwa als ein Gefühl ruhigen Ernstes oder ruhig heiterer Stimmung bezeichnen mögen, nur in abstracto in die Componenten der Lust, Erregung u. s. w. zerlegbar. Aber wenn derselbe Ton *c* mit *g* zusammen den Zweiklang *c g* bildet, so entspricht diesem ein resultirendes Gefühl, das sich zunächst aus den an *c* und *g* gebundenen Tongefühlen zusammensetzt. Hierbei können jedoch diese Componenten auch als selbständige Gefühle bei der Einwirkung der Einzeltöne vorkommen. Dieses Beispiel der Tongefühle bietet zugleich wegen der genauen Correspondenz, in der hier Empfindungen und Gefühle zu einander stehen, die beste Veranschaulichung für das Verhältniss der Partialgefühle verschiedener Ordnung zum Totalgefühl. In dem Accord *ceg* sind die an die Zusammenklänge *ce*, *cg* und *cg* gebundenen Gefühle die nächsten Partialgefühle; ihnen sind

wieder die drei Klanggefühle *c*, *e* und *g* als die letzten, weil einfachen untergeordnet: diese sind also Partialgefühle erster, jene solche zweiter Ordnung. Von der Art, wie irgend ein einzelnes dieser Partialgefühle das resultirende Totalgefühl bestimmt, kann man sich mittelst der Eindrucksmethode am deutlichsten Rechenschaft geben, wenn man die entsprechende Partialempfindung wechseln lässt, wenn man also z. B. von *ceg* zu *cea* übergeht, wo jetzt die eigenthümlichen Färbungen, die einerseits die hinweggenommenen, anderseits die neu hinzutretenden Componenten dem Totalgefühl mittheilen, klar zu erkennen sind.

Die Beobachtung dieser Veränderungen der Totalgefühle mit der Variation ihrer Partialgefühle verschiedener Ordnung ergibt so für die Gefühlsverschmelzungen zunächst ein Princip für die Ordnung und Abstufung der Elemente eines Ganzen, und sodann ein solches für die Werthgröße dieses Ganzen im Verhältniss zu den Werthen seiner Elemente, — zwei Principien, die nicht bloß für die Gefühlsverbindungen, sondern weiterhin für die seelischen Entwicklungen überhaupt von entscheidender Bedeutung sind. Das Princip der Abstufung der Elemente besteht in der Thatsache, dass in jedem irgendwie zusammengesetzten Totalgefühl ein dominirendes Partialgefühl enthalten ist, das dem Gefühl seinen Grundcharakter gibt, der durch die übrigen Partialgefühle nur mehr oder minder modificirt wird. Das Princip der Werthgröße des Ganzen besteht in der weiteren Thatsache, dass sich ein Totalgefühl niemals bloß aus der Summe der Partialgefühle zusammensetzt, in die es zerlegt werden kann, sondern dass es dazu immer noch einen specifischen, wenn auch seiner Qualität nach von den Partialgefühlen wesentlich mitbestimmten Gefühlswerth hinzubringt. Dieser letztere ist es dann eben, der das Eigenthümliche des Totalgefühls selbst ausmacht. Zugleich erklärt sich aber nur aus diesem Princip der Gefühlsresultanten die gewaltige Steigerung, die die Gefühle durch ihre Zusammensetzung erfahren können. Dasselbe lässt sich hiernach auch als ein Princip der Steigerung der Gefühlswerthe mit ihrer Zusammensetzung bezeichnen. Erst bei der Erörterung der höheren Gefühlsformen, namentlich der ästhetischen und intellectuellen, wird die vielseitige psychologische Bedeutung dieses Princips hervortreten. Hier beschränken wir uns darauf, als ein Beispiel einfachsten Totalgefühls das sogenannte Gemeingefühl einer kurzen Betrachtung zu unterwerfen. Seine Analyse schließt sich deshalb derjenigen der einfachen Gefühle am nächsten an, weil es unter allen Totalgefühlen wohl die einfachste Structur besitzt.

b. Das Gemeingefühl.

In der älteren Physiologie wurde das Gemeingefühl, die »Conästhesis«, den Empfindungen der äußeren Sinne gegenübergestellt, als die unmittelbare Selbstauffassung, die das wahrnehmende Subject von den Zuständen und Vorgängen seines eigenen Leibes besitze, und die man sich durch die sensibeln Nerven der verschiedenen Organe, der Muskeln, Drüsen, Schleimhäute, zu stande kommend dachte[1]. JOHANNES MÜLLER wies sodann auf die Gleichartigkeit aller dieser Empfindungen der inneren Organe mit denen des äußeren Tastsinnes oder des »Gefühlssinnes« hin. Indem er diesem die Gesammtheit der Körperorgane zuwies, beseitigte er daher ganz jene Gegenüberstellung dieses »inneren« und der äußeren Sinne[2]. Eine zwischen diesen beiden Betrachtungsweisen, der völligen Scheidung von den eigentlichen Sinnesempfindungen und der Einreihung unter dieselben, vermittelnde Auffassung brachte endlich ERNST HEINRICH WEBER zur Geltung. In seiner Arbeit über »Tastsinn und Gemeingefühl« setzte er zwar den Begriff des letzteren wieder in seine Rechte ein, hielt aber dabei doch an der Verwandtschaft mit den übrigen Sinnesempfindungen fest, indem er allgemein eine doppelte Empfindungsweise aller mit sensibeln Nerven versehenen Theile unterschied: eine specifische, die durch bestimmte objective Eindrücke hervorgerufen werde, und eine allgemeine, durch die sich uns der Zustand der Körpertheile selbst verrathe, und zu der er außer dem Schmerze alle sonstigen auf ein subjectives Verhalten bezogenen Empfindungen, insbesondere also alle Organempfindungen rechnete. WEBER betrachtete daher das Gemeingefühl nur als einen zusammenfassenden Ausdruck für ein ganzes Gebiet wechselnder Empfindungen, gerade so wie die Ausdrücke Tastsinn, Gesichtssinn u. s. w. derartige Generalbezeichnungen sind[3]. Dieser seitdem in der Physiologie im wesentlichen stehen gebliebenen Auffassung gegenüber, dass es im Grunde nur einzelne Gefühle, aber kein einheitliches Gemeingefühl gebe, ist jedoch die Psychologie stets der Neigung treu geblieben, jene verlorene Einheit wiederherzustellen. Dabei ging man dann freilich in dem Streben dieses Gebiet ganz von dem der einzelnen Sinnesempfindungen zu scheiden, zuweilen so weit, dass man ein solches einheitliches »Lebensgefühl«, das uns in jedem Augenblick von der Frische oder Schwerfälligkeit unserer Bewegungen, unserem Wohl- oder Uebelbefinden Rechenschaft gebe,

---

[1] Vgl. z. B. FR. ARNOLD, Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Bd. 2, II, 1841, S. 404 ff.

[2] J. MÜLLER, Handbuch der Physiologie des Menschen. Bd. 2, 1840, S. 494 ff.

[3] E. H. WEBER, Tastsinn und Gemeingefühl. Handwörterb. der Physiologie, Bd. 3, II, 1846, S. 562 ff.

überhaupt von Empfindungen unabhängig machte. Als ein ohne alle Vermittelungen entstehendes Bewusstsein unseres Seins, als ein sogenanntes »Daseinsgefühl« sollte es nur an das Bewusstsein als solches gebunden sein[1]. Dies hatte nun zweifellos, jener zersplitternden Auffassung der Physiologie gegenüber, eine gewisse Berechtigung, insofern dabei die einheitliche Natur aller subjectiven Zustände energisch betont wurde. Trotzdem war die Annahme einer solchen ohne Empfindungen entstehenden Selbstauffassung der Zustände des eigenen Körpers nicht nur von vornherein im höchsten Maße unwahrscheinlich, sondern sie widersprach auch direct der psychologischen Beobachtung, welche überall bestimmte Empfindungen als die Substrate des sogenannten Gemeingefühls erkennen lässt. So liegt hier das Richtige offenbar in der Mitte zwischen jener physiologischen und dieser psychologischen Auffassung. Die Empfindungen, an die thatsächlich das Gemeingefühl immer gebunden ist, sind die Organempfindungen und die durch directe centrale Erregungen und Reflexe vermittelten Empfindungen, die wir mit jenen unter dem Namen der »Gemeinempfindungen« zusammengefasst haben (siehe oben S. 42). Auch darin, dass er diese Empfindungen als nächste Verwandte der äußeren Tastempfindungen ansah, hat wohl JOHANNES MÜLLER einen richtigen Blick bewährt. Anderseits freilich konnte sein Versuch, das Gemeingefühl ganz auf einzelne Empfindungen zurückzuführen, den psychologischen Forderungen um so weniger genügen, als dadurch jener Vermengung der Begriffe Empfindung und Gefühl, die in der neueren Physiologie die Analyse der Gefühle vor allem getrübt hat, wesentlich Vorschub geleistet wurde[2]. Das war es, was die Psychologen mit ihrem freilich etwas verschwommenen »Lebensgefühl« richtig empfanden. In Wahrheit sind eben die Gemeinempfindungen die Substrate des Gemeingefühls. Jede Empfindung hat auch hier ihren Gefühlston. Die so entstehenden Einzelgefühle setzen sich aber zu einem Totalgefühl zusammen, in welchem im allgemeinen immer irgend ein Einzelgefühl als das dominirende enthalten ist. In der Regel ist es die Intensität einer einzelnen gefühlsbetonten Empfindung, die sie zum dominirenden Bestandtheil des Gemeingefühls macht. Dabei ist es gerade für diese Beziehung zur Intensität entscheidend, dass der Lust- und Unlustcomponente zwar nicht allein, aber doch in ganz vorwiegendem Maße die Elemente desselben angehören. So kommt hier jene Beziehung der Empfindungsstärke zu den Gegensätzen der Lust und Unlust, die für diese Gefühlsrichtungen so charakteristisch ist, ganz besonders zur Geltung. In den Zuständen

[1] GEORGE, Lehrbuch der Psychologie. 1854, S. 231. Vgl. auch TRENDELENBURG, Logische Untersuchungen. Bd. 1, 1841, S. 203.
[2] Vgl. Bd. 1, Cap. VII, S. 350 ff.

des »gehobenen Gemeingefühls« sind es neben schwachen Erregungsgefühlen namentlich die an mäßige Eindrücke gebundenen Lustgefühle, die als wechselnde dominirende Elemente hervortreten. Hauptsächlich sind es wohl die Empfindungen mäßiger Muskelspannung, die an die Stellungen und Bewegungen der Glieder, an die Athembewegungen geknüpft sind, und die gelegentlich von Sensationen der chemischen Sinne abgelöst werden, an die hierbei die dominirenden Gefühle gebunden sind. Gerade diese Zustände gehobenen Gemeingefühls entfernen sich daher unter normalen Verhältnissen wenig von der Indifferenzlage, in die sie leicht übergehen, um andern, an die höheren Sinnesfunctionen und an die intellectuellen Processe gebundenen Affecten und zusammengesetzten Gefühlen den Platz zu räumen. Auf der andern Seite ist die Schmerzempfindung die häufigste Empfindungsgrundlage der deprimirenden und unlustvollen Gemeingefühlszustände. Der Schmerz ist eben durch seine Empfindungsstärke von selbst zum dominirenden Element des Gemeingefühls prädisponirt. In der Erscheinung, dass eine Schmerzempfindung durch eine andere, oder dass sie sogar durch eine nicht unlustbetonte Empfindung oder Vorstellung in ihrem Gefühlston übertäubt werden kann, zeigt sich aber deutlich die eminente Bedeutung der dominirenden Elemente für das Gefühlsleben.

Indem nun in das Gemeingefühl alle die mannigfachen peripher und central ausgelösten Empfindungen, die wir im vorigen Capitel unter den Gemeinempfindungen kennen lernten, als ihre Substrate eingehen, ist es besonders auch die dort schon hervorgehobene vielfache Betheiligung von Mitempfindungen und Reflexempfindungen, die als verbindendes Moment schon bei diesen Empfindungssubstraten eine Rolle spielt und dann um so mehr die Verschmelzung aller in einem gegebenen Moment dem Bewusstsein zuströmenden Sensationen dieses Empfindungsgebietes in seinen Gefühlstönen zu einem einheitlichen Totalgefühl begünstigt. Dabei scheint aber dieses Totalgefühl, im Unterschiede von den oben erörterten Beispielen aus den höheren Sinnesgebieten, stets eine Verbindung einfachster Art zu sein, indem sich ein gegebener Gefühlszustand stets in eine Menge einander gleichgeordneter einfacher Gefühle zerlegt, die durch ein meist durch seine Stärke sich hervordrängendes herrschendes Element zusammengehalten werden. Es sind also nur Partialgefühle erster Ordnung, die in die Structur dieses Totalgefühls eingehen. Dadurch erklärt sich um so mehr der große, gerade beim Gemeingefühl oft sehr überragende Einfluss, den im Gefühlscharakter des Ganzen das dominirende Gefühl hat. Dieser Einfluss tritt besonders in solchen Fällen hervor, wo ein bestimmtes Gefühl durch pathologische Dispositionen bei allem Wechsel sonstiger Gefühlselemente immer und immer wieder sich

als das herrschende hervordrängt. So entstehen einerseits jene habituellen Gemüthsstimmungen, welche den wechselnden sonstigen Bewusstseinsinhalten die von dem beharrenden dominirenden Gefühl herrührende Gefühlsfärbung mittheilen, wie sie bei den entgegengesetzten Zuständen der Melancholie und der Exaltation zur Beobachtung kommen. Anderseits hat aber auch in dieser Grundthatsache die ungeheure Wirkung ihre hauptsächlichste Quelle, die gerade bei dauernden Alterationen des Gemeingefühls, welche von solchen einzelnen dominirenden Elementen ausgehen, das Gefühl auf das Vorstellungsleben, auf associative und apperceptive Processe und hierdurch auf die gesammte intellectuelle Seite des Seelenlebens ausübt[1].

c. Associationen der einfachen Gefühle.

Neben jenen unmittelbaren Verbindungen, welche die einfachen Gefühle regelmäßig eingehen, indem sie zu andern entweder als modificirende Elemente hinzutreten, oder sich über sie als dominirende erheben, erstrecken sich von jedem einzelnen Gefühle in der Regel noch weitere associative Beziehungen, die für den allgemeinen Zusammenhang des Gefühlslebens vielfach bestimmend sind. Es gibt vornehmlich zwei Arten solcher Gefühlsassociationen, die in dem Zusammenhang des Seelenlebens eine bedeutsame Rolle spielen. Die eine besteht in der Verbindung eines einzelnen Gefühls mit reproductiven Elementen, die an irgend welche zusammengesetzte Vorstellungen gebunden sind; die andere in den Verbindungen, die sonst disparate Empfindungen vermöge ihres verwandten Gefühlstones mit einander eingehen. Obgleich die letztere Association an sich als die einfachere erscheint, so beruht sie doch wahrscheinlich meist auf verwickelteren Bedingungen, weil bei ihr jene erste Form mindestens mitzuwirken pflegt, wenn sie nicht gar ausschließlich maßgebend sein sollte. Unter allen Umständen aber verweben sich diese beiden associativen Processe vielfach im einzelnen so sehr, dass jene associative Gefühlshebung, die beide herbeiführen, auf ihre einzelnen Factoren kaum mit Sicherheit zurückgeführt werden kann.

Dass der Gefühlston einer einfachen Empfindung durch die Association mit geläufigen Vorstellungen, welche die nämliche Empfindung enthalten, beeinflusst wird, drängt sich nicht selten unserer Beobachtung auf. Ist es auch kaum wahrscheinlich, dass er jemals ausschließlich durch solche Associationen bestimmt werde, so können dieselben doch auf die in der reinen Empfindung liegende Stimmung wesentlich verstärkend und

---

[1] Vgl. Kraepelin, Psychiatrie[6], Bd. 1, S. 185 ff. Störring, Vorlesungen über Psychopathologie, S. 401 ff.

unter Umständen wohl auch modificirend einwirken. Es kann daher außerordentlich schwer werden zu entscheiden, inwieweit ein Gefühl ursprünglich oder erst abgeleitet, durch Association hervorgerufen sei. Durch Association z. B. erinnert die grüne Farbe an Waldes- und Wiesengrün, oder mahnt Glockengeläute oder Orgelton an Kirchgang und Gottesdienst. Durch diese Associationen heftet sich dann der reinen Empfindung selbst etwas von dem Gefühlston an, der jene zusammengesetzten Vorstellungen begleitet. Wegen dieser Gebundenheit an die Vorstellung sind es vorzugsweise die höheren, zu einem reicheren Vorstellungsleben entwickelten Sinne, bei denen die Associationen für den Gefühlston bestimmend werden. Wie Orgel- und Glockenklang an religiöse Feier, so mahnt uns die schmetternde Trompete an Kriegs- und Waffenlärm, der Schall des Hifthorns an Jagdgetümmel und Waldesfrische, die tiefen, langsamen Klänge eines Trauermarsches wecken die Vorstellung eines Leichenzuges. Schwarz ist fast bei allen Völkern die Farbe, in die sich der Leidtragende hüllt, in Purpur kleidet sich die königliche Pracht. Auch diese Associationen erwecken daher an und für sich schon die Stimmungen ernster Trauer, imponirender Würde, ebenso wie die hochrothe Beleuchtung an Flammenschein, das Gelb an strahlenden Sonnenglanz, das satte Grün an die befriedigte Ruhe der grünen Natur erinnert. Gleichwohl ist in allen diesen Fällen die Association wahrscheinlich nirgends das ursprüngliche Element des Gefühls, sondern sie kann dieses nur in der ihm durch den Gefühlston der Empfindung selbst gegebenen Richtung verstärken, oder ihm wohl auch eine besondere Färbung verleihen. Am deutlichsten erhellt dies in jenen Fällen, wo die Vorstellungen, an die die Associationen anknüpfen, auf eine ursprüngliche Gefühlsbetonung der Empfindung zurückweisen. Schwarz ist eben deshalb die Farbe der Trauer, die Orgel dient deshalb zum Ausdruck ernster Feier, weil den Empfindungen der entsprechende Charakter innewohnt. Die Sitte, an die sich die Association knüpft, ist hier selbst nur durch das Gefühl gelenkt worden. In andern Fällen liegt allerdings eine solche Beziehung der Association zum Gefühlston nicht so offen zu Tage, weil der ursprüngliche Eindruck durch äußere Naturbedingungen erzeugt wird. So z. B. wenn die Vorstellung der grünen Vegetation die ruhige Stimmung des Grün, die Erinnerung an den belebenden Sonnenschein den erregenden Gefühlston des Gelb verstärken soll. Wollte man hier trotzdem eine Verwandtschaft des reinen Gefühlstones der Farben mit diesen Associationen annehmen, so würde dies, wenn die Beziehung nicht eine bloß zufällige sein soll, eine ursprüngliche Harmonie unserer Empfindungen mit den Gegenständen in sich schließen, denen diese Empfindungen als Eigenschaften zukommen. In der That ist das wohl insofern keineswegs undenkbar, als auch das Seh-

organ Product einer Entwicklung ist, bei der es sich der Naturumgebung angepasst hat, wie man denn ja schon bei niederen Organismen eine Bevorzugung solcher Beleuchtungen beobachtet, die der Färbung des gewohnten umgebenden Mediums gleichen[1]. So sind denn auch beim Menschen die verbreitetsten Lichtarten, Weiß, Grün, Blau, zugleich diejenigen, die von der Netzhaut am längsten als gleichförmige Eindrücke ertragen werden, während dieselbe durch die selteneren, Roth, Purpur, Violett, am schnellsten ermüdet.

Eine weitere, in vieler Beziehung bedeutsame associative Verstärkung der Gefühle kann sodann aber auch durch die unmittelbare Verwandtschaft der Gefühlstöne verschiedener Empfindungen entstehen. Wir bezeichnen diese Associationen wegen der dabei stattfindenden Beziehungen der Gefühlstöne auf die Empfindungen als Analogien der Empfindung. So scheinen uns die Empfindungen disparater Sinne erfahrungsgemäß in bestimmten Verwandtschaftsverhältnissen zu stehen. Zwar liegen dem oft zugleich Beziehungen der objectiven Sinnesreize zu Grunde. Aber bei der unmittelbaren Auffassung jener Analogien ist doch offenbar irgend eine Kenntniss der Reize nicht im geringsten wirksam, sondern die Association vollzieht sich ausschließlich auf Grund der Empfindungen selber. So scheinen uns tiefe Töne den dunkeln Farben und dem Schwarz, hohe Töne den hellen Farben und dem Weiß angemessen. Der scharfe Klang, z. B. der Trompete, und die Farben der erregenden Reihe, Gelb oder Hellroth, entsprechen sich, ebenso die dumpfe Klangfarbe und das beruhigende Blau. In der Unterscheidung kalter und warmer Farben, in den Ausdrücken »scharfer Klang«, »gesättigte Farbe« u. a. führen wir ähnliche Vergleichungen zwischen den höheren und den niederen Sinnen aus. Alle diese Analogien beruhen aber wahrscheinlich nur auf der Verwandtschaft der zu Grunde liegenden einfachen Gefühle. Der tiefe Ton als reine Empfindung betrachtet hat zu der dunkeln Farbe kaum eine Beziehung; doch da beiden der gleiche ernste Gefühlston anhaftet, so übertragen wir dies auf die Empfindungen, die uns nun selber verwandt erscheinen[2]. Verstärkt werden freilich diese Beziehungen wohl auch hier durch reproductive Vorstellungsassociationen. Mit dem tiefen Orgelklang, der an sich einer feierlichen Stimmung entspricht, verbindet sich die Vorstellung des dunkeln Feiertagsgewandes, u. s. f. Vollends wo man eine speciellere Verwandtschaft der Stimmung, als wie sie hier nach ihren

---

[1] Vgl. Bd. 1, S. 462.

[2] Solche Beziehungen mögen wohl GOETHE vorgeschwebt haben, als er schrieb: »Ich habe nichts dagegen, wenn man die Farbe sogar zu fühlen glaubt; ihr eigenes Eigenschaftliche würde dadurch nur noch mehr bethätigt. Auch zu schmecken ist sie: Blau wird alkalisch, Gelbroth sauer schmecken. Alle Manifestationen der Wesenheiten sind verwandt.« (GOETHEs Sprüche in Prosa, von G. VON LOEPER, S. 213, Nr. 988, 989.)

allgemeinsten Richtungen angedeutet ist, zwischen Klängen und Farbentönen zu finden meint, dürfte sie auf solchen Associationen beruhen, deren Richtung dann natürlich auch nach den Verhältnissen der individuellen psychischen Ausbildung wechselt[1]. Eine wichtige Seite aller dieser Gefühlsassociationen liegt schließlich darin, dass sie mit zu den sinnlichen Grundlagen der ästhetischen Wirkung gehören. Auf ihnen beruht die Möglichkeit mit Tönen zu malen und in Farben zu sprechen; und durch die Vereinigung mehrerer Empfindungen von ähnlichem Gefühlston bieten sie ein wirksames Mittel zur Verstärkung der Stimmung. Die Analogien der Empfindungen selbst aber beruhen schließlich wieder auf der Zugehörigkeit der Grundrichtungen aller Gefühle zu einem und demselben Gefühlscontinuum.

Unter den Eigenschaften der einfachen Gefühle sind es übrigens besonders diese associativen Beziehungen, die bei verschiedenen Individuen außerordentlich große Abweichungen darbieten. Wahrscheinlich ist es diese individuell so überaus wechselnde Fähigkeit, zu bestimmten Gefühlen andere ihnen irgendwie verwandte oder auch nur häufig mit ihnen zugleich vorkommende Eindrücke zu associiren, worauf zu einem großen Theil die Unterschiede der individuellen Gefühlsanlagen beruhen. Charakteristische Erscheinungen, die in dieses Gebiet der individuellen Differenzen gehören, bieten namentlich die Analogien der Empfindung, indem bei manchen Personen neben den obigen, im wesentlichen allgemeingültigen Associationen noch ganz andere, speciellere mit einer gewissen Constanz sich einstellen. Die französischen Autoren haben diese Erscheinung nach der am häufigsten vorkommenden Associationsrichtung als »Audition colorée« bezeichnet. Zu bestimmten Tönen werden bestimmte Farben, und umgekehrt zu Farben Töne associirt. Auch Worte und Farben, Begriffe von bestimmten Bedeutungsrichtungen, z. B. die Begriffe der Temperamente, der Affecte, und die Farben bilden solche Verbindungen. Bei manchen Individuen nehmen ferner die zu bestimmten Klängen associirten Farben geometrische Formen an, deren Gestalt und Größe sich mit dem Charakter des Klanges ändert. Alle derartige Associationen pflegen bei einer und derselben Person, namentlich wohl wenn der Einfluss der Einübung hinzukommt, constant zu bleiben; bei der Vergleichung verschiedener Individuen wechseln sie aber und lassen theils gar keine Gesetzmäßigkeit erkennen, theils ordnen sie sich den oben angeführten Analogien unter. Hiernach beruhen wahrscheinlich alle diese

---

[1] Hierher gehören z. B. folgende Analogien. Der helle Klang der Schalmeie soll an das frische heitere Gelb einer mit Dotterblumen übersäeten Wiese, der Flötenton an das sanfte Himmelblau lauer Sommernächte erinnern, u. s. w. Vgl. NAHLOWSKY, Das Gefühlsleben, S. 147. C. HERMANN, Aesthetische Farbenlehre. 1876, S. 45 f.

Beobachtungen auf einer Mischung solcher Erscheinungen, die aus allgemeingültigen Analogien des Gefühlstones, und anderer, die aus zufällig entstandenen Associationen hervorgehen, während außerdem eine besondere Erregbarkeit der betreffenden Sinnescentren die individuelle Anlage begünstigt[1].

5. Allgemeine Theorie der Gefühle.

a. Psychologische Bedeutung der Gefühle.

Während den beiden zuvor betrachteten Bestandtheilen der Empfindung, der Stärke und der qualitativen Beschaffenheit, bestimmte Eigenschaften des physischen Reizungsvorganges parallel gehen, lässt sich für die Gefühle eine ähnliche objective Grundlage nicht unmittelbar auffinden. Die Annahme liegt daher nahe, das Gefühl sei ein secundärer Bestandtheil der Empfindungen und Vorstellungen, der erst durch irgend welche Wirkungen oder Wechselwirkungen derselben entstehe. Diese Annahme hat in zwei Auffassungen über das Wesen der Gefühle ihren Ausdruck gefunden, die zugleich die hauptsächlichsten Gegensätze andeuten, zwischen denen sich die Theorie der Gefühle bewegt hat. Die eine betrachtet diese als unmittelbare Affectionen der Seele durch die Empfindungen und Vorstellungen; die andere sucht sie auf das wechselseitige Verhältniss der Vorstellungsinhalte des Bewusstseins zurückzuführen. Die erste Hypothese, die von ARISTOTELES bis auf KANT und die Neueren die meisten Psychologen zu ihren Vertretern zählt, setzt an die Stelle des empirischen Begriffs des Bewusstseins den metaphysischen der Seele. Ueber Lust und Schmerz der Seele sagt uns aber unsere Erfahrung gar nichts. In dieser kennen wir nur Zustände unseres Bewusstseins, und so nehmen wir auch die einfachen Gefühle als unmittelbare Affectionen des Bewusstseins durch die Empfindung wahr. Die zweite Auffassung ist aus verwickelteren Gefühlsformen, namentlich aus denen des ästhetischen Eindrucks, sowie aus den an die Bewegung der Vorstellungen gebundenen Gemüthsbewegungen abstrahirt worden. Nach ihr, die hauptsächlich in HERBART und seiner Schule vertreten ist, resultiren die Gefühle überall aus einer Wechselwirkung der Vorstellungen. Die gegenseitige Hemmung der Vorstellungen erzeugt

---

[1] F. GALTON, Inquiries into human Faculty. 1883, p. 114 ff. BLEULER und LEHMANN, Zwangsmäßige Lichtempfindungen durch Schall u. s. w. 1881. GRUBER, Congr. intern. de Psych. physiol. Paris 1890, p. 157, und Congr. de Psych. expér. London 1892, p. 12. TH. FLOURNOY, Des Phénomènes de Synopsie. 1893. (Eingehende Darstellung dieser und verwandter Erscheinungen.) W. O. KROHN, Amer. Journ. of Psych. 1892. Ausführliche Bibliographie.) D. E. PHILLIPS, ebend. 1897. Ueber Association von Worten und Farben vgl. H. KAISER, Archiv für Augenheilkunde, Bd. 9, 1, S. 96.

Unlust, ihre Verbindung und Förderung Lust. Diese Hypothese begegnet jedoch, abgesehen von den unerweisbaren Behauptungen, zu denen sie führt, der großen Schwierigkeit, dass sie gerade das einfache Gefühl, den Gefühlston der Empfindung, unerklärt lässt. Wenn wir zugeben, dass eine für sich bestehende Empfindung schon von Gefühl begleitet sein kann, so lässt sich dieses doch offenbar nicht aus einer Wechselwirkung von Vorstellungen ableiten. Unmöglich können aber die einfachen Gefühle als Zustände betrachtet werden, die von den zusammengesetzteren Gemüthsbewegungen völlig verschieden wären[1], da sie nicht nur nach ihrem allgemeinen Charakter diesen verwandt sind, sondern auch häufig die elementaren Factoren derselben abgeben. Wie ihnen, so wohnt nun schließlich allen Gefühlen die Eigenschaft bei, dass sie nicht bloß durch die Form, in der das innere Geschehen abläuft, sondern zunächst und hauptsächlich durch den besonderen Inhalt der einzelnen Empfindungen und Vorstellungen bestimmt werden. Gerade an den Eigenschaften, denen die Gefühle ihren Werth und ihre Bedeutung für das Seelenleben verdanken, gehen somit diese intellectualistischen und formalistischen Theorien nicht achtend vorüber.

Trotz ihrer Verschiedenheit treffen übrigens beide Hypothesen darin zusammen, dass sie den dem Gefühl zu Grunde liegenden Vorgang sondern von der eigentlichen Empfindung und Vorstellung, die sie als für sich bestehende Inhalte des Bewusstseins auffassen. Nun sind uns aber in Wirklichkeit alle diese Bestandtheile des seelischen Lebens als zusammengehörige, an sich einheitliche gegeben. Wir werden daher der Wahrheit näher kommen, wenn wir zunächst bei den einfachen Gefühlen das Verhältniss so definiren, dass an jenem untrennbaren Ganzen, das wir eine Empfindung von bestimmter Qualität, Stärke und Gefühlsfärbung nennen, die letztere denjenigen Bestandtheil darstellt, den wir als die subjective Reaction des Bewusstseins auf einen Eindruck auffassen, während wir diesem die Intensität und Qualität der Empfindung als seine objectiven Eigenschaften zutheilen.

Wird damit dem Gefühl die gleiche Unmittelbarkeit und Ursprünglichkeit wie der Empfindung zugestanden, nur dass es uns gewissermaßen von einer andern Seite her die psychischen Erlebnisse erblicken lässt, so sind nun damit indirect auch alle jene intellectualistischen Interpretationen der Gefühle beseitigt, wie sie theils in Verbindung mit den beiden oben erwähnten Haupttheorien, theils ohne sie noch gegenwärtig in der Psychologie ihr Dasein fristen. Solche Interpretationen sind in einer doppelten

[1] Manche Herbartianer sind freilich, der allgemeinen Theorie zu Liebe, auch vor dieser Consequenz nicht zurückgeschreckt. Vgl. z. B. NAHLOWSKY, Das Gefühlsleben. 1862, S. 13 ff.

Form aufgetreten: in einer ursprünglicheren, naiveren, und in einer späteren, mehr kritischen. Gleichwohl sind beide die Producte einer Reflexionspsychologie, welche die seelischen Erlebnisse dadurch erklären zu können glaubt, dass sie von den Ueberlegungen Rechenschaft gibt, die der psychologische Beobachter über sie anstellt. Nur der Unterschied besteht zwischen ihnen, dass die eine die Gefühle selbst für Erzeugnisse der Reflexion erklärt, speciell also die Lust für eine mehr oder weniger dunkle Erkenntniss der Nützlichkeit, die Unlust für eine solche der Schädlichkeit eines Sinnesreizes, wogegen es die zweite für eine weise Einrichtung der Natur ansieht, dass vor das Nützliche die Lust, vor das Schädliche der Schmerz als Schützer der menschlichen Wohlfahrt gesetzt sei. Auf diese Weise hängen beide Formen zugleich auf das engste mit der Lust-Unlusttheorie zusammen, da in der That bei den andern Richtungen der Gefühle kaum an solche utilitarische Gesichtspunkte gedacht werden könnte. Aber auch für Lust und Unlust gilt was für die Gefühle überhaupt gilt: sie sind unmittelbare, in ihren letzten Elementen nicht in weitere Bestandtheile zerlegbare, und eben darum nicht auf irgend welche andere Vorgänge zurückführbare Erlebnisse. So wenig es zulässig ist zu sagen, der Mensch empfinde Roth, Grün, Blau, damit er das fließende Blut, den blauen Himmel und die grüne Vegetation wahrnehmen könne, gerade so wenig ist es erlaubt zu sagen, der Mensch fühle Lust und Unlust, um gewisse Reize aufzusuchen und andere zu meiden. Hätte die Natur wirklich bei der Ausstattung des Menschen mit Gefühlen solche Zwecke verfolgt, so würde sie diese Zwecke ohnehin schlecht erreicht haben. Denn es ist bekannt genug, dass die gefährlichsten Gifte angenehm, und die heilsamsten Arzneimittel schlecht schmecken und riechen können, wie nicht minder, dass die gefährlichsten Krankheiten gelegentlich schmerzlos verlaufen. Natürlich, ein Körnlein Wahrheit fehlt auch hier nicht. Aber um es zu finden, müssen wir vor allem von der gleichen Ursprünglichkeit von Gefühl und Empfindung ausgehen. Dann ist ja auch die Eigenschaft der Thiere und des Menschen, zu sehen, zu hören, zu riechen u. s. w., eine nützliche Einrichtung für ihre Organisation, so wie diese nun einmal beschaffen ist. Sie ist zweckmäßig, weil sie eben von Anfang an mit zu dieser Organisation gehört und aus jener Wechselwirkung des lebenden Wesens mit seiner Umgebung hervorgegangen ist, die wir mit einem zusammenfassenden teleologischen Ausdruck seine »Anpassung« nennen. Nicht als ob dieser Ausdruck selbst irgend etwas erklären sollte. Aber er weist doch, gegenüber der alten Physikotheologie und Teleologie, die den Organismus, seine Bedürfnisse und die Werkzeuge zu ihrer Befriedigung als bloß äußerlich verbundene

Einrichtungen angesehen hatten, auf die unmittelbare innere Einheit aller dieser Eigenschaften hin, die es streng genommen nie erlaubt, ein Glied des Ganzen als ein bloßes Hülfsmittel für die andern Theile anzusehen, statt sie alle als zusammengehörige, aus denselben nothwendigen Gesetzen organischer Entwicklung hervorgegangene Factoren. Nicht anders verhält es sich mit den Gefühlen. Hier bilden Lust und Unlust, wie nicht minder Erregung und Beruhigung, Spannung und Lösung, Grundbestandtheile des psychischen Lebens, die mitbegründet sind in jener ganzen psychophysischen Organisation, vermöge deren jede Function in die andern eingreift, und keine der Grundfunctionen überhaupt von den andern losgelöst werden kann. Die Frage, weshalb wir Lust, Unlust u. s. w. fühlen, ist also eigentlich ebenso inhaltsleer, als wenn wir fragen wollten, warum wir tasten, riechen, schmecken u. s. w., und warum sich nicht etwa statt dieser ganz andere Empfindungen entwickelt haben. Die Gefühle gehören ebenso zu den fundamentalen Eigenschaften der menschlichen und, wie man mit der größten Wahrscheinlichkeit hinzufügen darf, auch der thierischen Natur, wie die Empfindungen. Wie wir nun aber allerdings trotz der Unableitbarkeit der ursprünglichen Empfindungsqualitäten diese, nachdem sie einmal da sind, mit bestimmten Lebensfunctionen in Beziehung bringen können, so verhält es sich auch mit den Gefühlen; und in diesem Sinne ist daher zwar nicht eine Ableitung der Gefühle aus irgend welchen andern seelischen Vorgängen, wohl aber eine Aufzeigung der allgemeinen Beziehungen möglich, in denen sie zur Gesammtheit der seelischen Vorgänge stehen.

Fassen wir die Aufgabe in diesem einzig berechtigten und eigentlich einzig möglichen Sinne, so bilden nun zunächst Empfindung und Gefühl die zu einander gehörenden elementaren Componenten des seelischen Lebens überhaupt, insofern dieses immer und überall Erlebnisse erlebender Subjecte umfasst, damit also auch ohne weiteres in objective und subjective Bestandtheile sich sondert: die Elemente jener objectiven Bestandtheile sind die Empfindungen, die der subjectiven die einfachen Gefühle. Der Gefühlston bildet demnach schon insofern ein nothwendiges Complement der Empfindung, als jede Empfindung einem empfindenden Subject angehört, also neben ihrem objectiven als subjectiven Factor eben das Verhalten dieses Subjectes zu dem Eindruck enthält. Dies spricht sich ohne weiteres in der Thatsache aus, dass wir zwar die Empfindungen bez. die aus ihnen gebildeten Vorstellungen, nicht aber die Gefühle und die aus ihnen zusammengesetzten Gemüthsvorgänge objectiviren, sondern sie fortan und unmittelbar als das auffassen was sie sind, als unsere eigenen subjectiven Erlebnisse, die dann freilich immer zugleich die Art bezeichnen, wie wir auf die in der Empfindung

gegebenen objectiven Eindrücke reagiren. In diesem weiteren Sinne gehören zu den objectiven Inhalten natürlich auch die Empfindungen unserer eigenen Körperorgane, bei denen die nähere Beziehung zu dem Subject nur darin zum Ausdruck kommt, dass der Gefühlston dieser Empfindungen besonders intensiv ist, so dass die eigentlichen Empfindungselemente dagegen zurücktreten.

In dieser allgemeinen Begriffsbestimmung der Gefühle, als der subjectiven Reactionen des erlebenden Bewusstseins auf seine Erlebnisse, liegt bereits ausgesprochen, dass sie, im Gegensatze zu den in mehrere Mannigfaltigkeiten auseinandertretenden Empfindungen, einheitliche Functionen sind. Denn so mannigfaltig jener Inhalt sein mag, so bildet er doch in jedem Moment ein Ganzes im Bewusstsein. Diese Einheit des Bewusstseins wird nun aber allerdings ihrerseits wieder vermittelt durch jene specifische Einheitsfunction desselben, die in wechselnder Weise die einzelnen Bewusstseinsinhalte durch Hemmung der übrigen zu besonderer Klarheit erhebt, und die wir danach als die centrale Function des Bewusstseins oder, im Unterschiede von den percipirten Bewusstseinsinhalten, als die Apperception bezeichnen[1]. Diese centrale Function der Apperception ist in jedem Augenblick auch für den ganzen übrigen Bewusstseinsinhalt bestimmend, indem dessen sämmtliche Elemente nach ihrem Verhältniss zu den appercipirten Elementen geordnet werden. So erscheinen denn auch die an die einzelnen Bewusstseinsinhalte gebundenen Gefühle durchaus als subjective Bestimmungen, die jedes einzelne Bewusstseinserlebniss durch seine Einwirkung auf die Function der Apperception empfängt. In diesem Sinne ist jedes Gefühl nicht bloß Reaction des Bewusstseins, sondern Reaction der Apperception auf das einzelne Bewusstseinserlebniss. Dieses fundamentale Verhältniss spricht sich namentlich auch in einer Thatsache aus, die uns bei den Associations- und Erinnerungsvorgängen wieder begegnen wird. Sie besteht darin, dass der Gefühlston einer nur dunkel percipirten Empfindung oder Vorstellung gleichwohl irgendwie appercipirt wird und so das vorhandene Totalgefühl mehr oder minder lebhaft oder sogar vorherrschend bestimmen kann. So hängt überhaupt ebenso der Zusammenhang der Gefühle in einem einzigen Gefühlscontinuum wie die Eigenschaft der einzelnen, in jedem Moment im Bewusstsein zu einem einheitlichen Totalgefühl vereinigt zu sein, mit dieser ihrer directen Beziehung zur Apperception oder, genauer ausgedrückt, mit dem Wesen des Gefühls, Reactionsweise der Apperception auf den Bewusstseinsinhalt zu sein, auf das engste zusammen.

---

[1] Vgl. unten Abschn. V und oben Abschn. I, Bd. 1, S. 320 ff.

Als eine solche Reaction der Einheitsfunction des Bewusstseins oder der Apperception auf den Bewusstseinsinhalt ist nun aber das Gefühl wieder von den sämmtlichen Factoren abhängig, die in diese Wechselbeziehung eingehen: auf der einen Seite von der Beschaffenheit des Bewusstseinsinhalts, und auf der andern von der Energie, mit der vermöge der vorhandenen Dispositionen des Bewusstseins die Apperception reagirt. Daraus wird im allgemeinen verständlich, dass jedes Gefühl aus Componenten zusammengesetzt ist, die von dem specifischen Bewusstseinsinhalt herrühren — als solche lernten wir die Lust-Unlust- und die Erregungs-Beruhigungselemente kennen — und aus andern, die an die allgemeinen Apperceptionsbedingungen für diesen specifischen Inhalt gebunden sind: die Spannungs-Lösungscomponenten. Unter ihnen sind die ersteren natürlich beide sowohl von der Intensität wie von der Qualität des Eindrucks abhängig. Aber die besonderen Bedingungen dieser Componenten bringen es mit sich, dass gerade die Gefühlsrichtungen, die in erster Linie den momentanen Gefühlszustand seiner Qualität nach charakterisiren, Lust und Unlust, eine Function zugleich der Intensität des Eindrucks sind, und dass dagegen diejenigen, die vielmehr die intensive Erregung des Gemüths in sich schließen, Erregung und Beruhigung, vorzugsweise als Functionen der Qualität der Eindrücke auftreten. Dies ist natürlich nicht so zu verstehen, als wenn die Stärkeverhältnisse der objectiven Bewusstseinsinhalte an sich Lust oder Unlust, ihre Qualitäten aber Erregung oder Depression erzeugten. Vielmehr sind beide Gefühlscomponenten immer untheilbar an das Ganze jenes Inhalts gebunden, gerade so wie ja auch die Empfindung Intensität und Qualität nicht als von einander unabhängige Elemente enthält.

b. Die Gefühle als psychophysische Vorgänge.

Jene Theorie, welche die Gefühle als »unmittelbare Affectionen der Seele« definirte, sah in denselben meist zugleich specifische Zustände der Seele, die an sich von körperlichen Vorgängen unabhängig seien. In den Empfindungen die Eindrücke der Außenwelt aufnehmend, sollte sie in den Gefühlen gewissermaßen sich selbst in ihrem eigenen inneren Sein anschauen. Diese Ansicht ist selbstverständlich durch alles das, was wir über die physiologische Symptomatik der Gefühle erfahren haben, unhaltbar geworden. Sind doch die respiratorischen und vasomotorischen Begleiterscheinungen so überaus feine Reagentien der Gefühle, dass sich diese, wenn sie selbst eben erst subjectiv wahrnehmbar werden, auch schon in jenen physischen Symptomen verrathen. Augenscheinlich also sind die Ausdruckserscheinungen hier den psychischen Vorgängen ganz so unveränderlich zugeordnet, wie die Sinneserregungen den Empfindungen,

wobei wir ja auch bei diesen die Erregungen der Sinnescentren mit zu dem allgemeinen Begriff der Sinneserregung rechnen müssen. (Vgl. Bd. 1, S. 365.) Nun sind die sämmtlichen früher erörterten Ausdruckserscheinungen im allgemeinen, und namentlich insoweit sie als psychophysische Symptome in Betracht kommen, dem Willen entzogene Innervationsvorgänge, die theils in Centren des verlängerten Marks, theils in peripheren Ganglien oder sonstigen nervösen Apparaten ihren Sitz haben; daher sie denn auch völlig unabhängig von irgend welchen subjectiv wahrnehmbaren Gefühlszuständen mannigfache Veränderungen erfahren können (S. 271). Daneben sind aber diese Innervationscentren mit centraleren Gebieten, namentlich mit solchen der Hirnrinde durch intracentrale Leitungsbahnen verbunden, wie dies die physiologischen Einflüsse beweisen, die die Reizung oder Ausschaltung der höheren Centren auf Athmungs- und Herzbewegungen ausüben. Somit ist für die physischen Symptome der Gefühle an sich ein doppelter Angriffspunkt denkbar: ein mehr peripher gelegener, in den niederen Centren der Medulla oblongata und ihrer nächsten Adnexa, und ein centralerer, muthmaßlich jenen Gebieten der Hirnrinde angehörig, in denen auch nach anderweitigen physiologischen Erfahrungen Verbindungen mit den directen Innervationscentren angenommen werden müssen. In der That hat man nun zuweilen vermuthet, die Centren für die Ausdrucksbewegungen der Gefühle und demnach auch für die Gefühle selbst seien eben in jenen Gebieten des verlängerten Markes gelegen, von denen, wie wir annehmen dürfen, die normale Selbststeuerung der Athmung und der Herzbewegung ausgeht, und in denen überdies mimische Reflexe ausgelöst werden können, die ebenso als Symptome von Gefühlen und Affecten vorkommen. Insbesondere die letzteren, die, weil sie leicht der unmittelbaren Beobachtung zugänglich sind, im gewöhnlichen Leben allgemein als äußere Zeichen der Gemüthsbewegungen gelten, sind danach auch von Physiologen und Psychologen zuweilen als Merkmale der entsprechenden subjectiven Zustände betrachtet worden. So hat man mehrfach beobachtet, dass hirnlose Missgeburten auf die Einwirkung süßer, saurer, bitterer, salziger Geschmacksreize genau mit denselben mimischen Bewegungen antworten wie der voll entwickelte Mensch, und dass sich dann an den ersten mimischen Reflex des Süßen zuweilen weitere Saugbewegungen anschließen, die das Kind bis dahin vermissen ließ[1]. Indem man diese Bewegungen als Gefühlsreactionen deutete, schloss man nun, dass die Gefühle nicht im Großhirn, sondern in den niedereren Nervencentren ihren Sitz hätten. Wäre diese Ansicht

[1] PREYER, Die Seele des Kindes[4], 1895, S. 79. FLECHSIG, Die Localisation der geistigen Vorgänge. 1896, S. 11. W. STERNBERG, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 27, 1901, S. 77.

richtig, so würden natürlich diese Ausgangspunkte der physischen Gefühlssymptome auch als die Centren anzusehen sein, in denen die Gefühle selbst residiren. Dass eine solche Annahme angesichts der engen Beziehungen, in denen die sonstigen, doch meist sehr zusammengesetzten Bewusstseinsinhalte und die Gefühle zu einander stehen, psychologisch eine außerordentlich geringe Wahrscheinlichkeit für sich hat, braucht hier nicht weiter ausgeführt zu werden. Ebenso kann man sich aber durch die beobachteten Erscheinungen kaum veranlasst sehen, den Sitz der bewussten Geschmacks- oder anderer Empfindungen in jene niederen Centren zu verlegen. Sind doch die mimischen Bewegungen an und für sich zunächst lediglich Reflexe, an die sich dann, ebenso mechanisch wie sie selber entstanden sind, weitere Mitbewegungen, wie z. B. die des Saugens, anschließen können, ohne dass dabei irgend welche Empfindungen oder Gefühle wirksam werden. Darum sind die Ausdrucksbewegungen überhaupt an sich stets zweideutiger Art: sie können wirkliche Begleiterscheinungen bestimmter psychischer Zustände, oder sie können auch bloße Wirkungen irgend welcher durch periphere Reize schon in den niederen Centren ausgelöster Reflexe und als solche für die psychische Symptomatik bedeutungslos sein. Gerade bei den respiratorischen und vasomotorischen Erscheinungen lehrt uns ja die Physiologie vielfach Einflüsse kennen, die ebenso wie bestimmte psychische Zustände wirken, darum aber doch keineswegs solche sind. Man denke z. B. an die Wirkungen der Reizung und der Durchschneidung des Vagus auf Athmung und Herzschlag. Der Beweis, dass es sich bei einer gegebenen Ausdrucksbewegung um ein psychisches Symptom handelt, lässt sich daher stets nur daraus entnehmen, dass wirklich ein psychischer Zustand vorhanden ist. Nun steht aber jedenfalls fest, dass zur Auslösung solcher Gefühle, wie wir sie bei unseren Versuchspersonen beobachten, centrale Vorgänge in den Sinnes- und Apperceptionscentren gehören, von denen die Gefühle selbst, da sie nur Bestandtheile der ganzen Vorgänge bilden, gar nicht losgelöst werden können. Demnach werden wir auch jene physischen Symptome nicht in die nächsten respiratorischen und vasomotorischen Centren der Medulla verlegen dürfen, sondern sie werden muthmaßlich aus den Innervationen entspringen, die diesen nächsten Centren von höher gelegenen aus zugeführt werden. Nun sind die Gefühle, von ihrer psychologischen Seite betrachtet, in dem doppelten früher erörterten Sinne einheitliche Zustände, dass sie erstens eine einzige zusammenhängende Mannigfaltigkeit bilden, und dass sie sich zweitens jeweils zu einem das Bewusstsein bestimmenden Totalgefühl verbinden. Danach sind wir aber auch berechtigt, für jene den Gefühlen entsprechenden physischen Begleiterscheinungen ein einheitliches Substrat zu

vermuthen. Dies würde dazu führen, in den Ausdrucksbewegungen überhaupt Reflexe des Apperceptionscentrums zu sehen. Reflexe sind sie insofern, als zwar die Bedingungen, unter denen die Gefühle entstehen, außerhalb des Mechanismus reflectorischer Erregungen liegen, die Ausdrucksbewegungen jedoch, wie dies vor allem die respiratorischen und vasomotorischen Symptome zeigen, durchaus unwillkürliche und ohne unmittelbares Bewusstsein vor sich gehende Begleiterscheinungen der psychischen Zustände sind. Den Reflexbahnen, die von diesem allgemeinen Gefühlscentrum ausgehen, werden wir dann, außer ihren mannigfachen sonstigen Verbindungen mit der Körpermuskulatur, insbesondere auch solche mit den Innervationscentren des verlängerten Marks für Athmung und Blutbewegung anweisen müssen. In die hier stattfindende Selbststeuerung der Vorgänge und in die mannigfachen Wechselwirkungen, die zwischen den verschiedenen einander coordinirten Centren stattfinden, greifen aber, wie uns eben die Einflüsse der Gefühle und Affecte unmittelbar lehren, jene von höheren Centren herstammenden Innervationen in einer Weise ein, die wiederum von der Natur der psychischen Inhalte bez. von der physiologischen Natur der begleitenden Vorgänge im Apperceptionscentrum abhängig ist. Das entstehende Symptomenbild selbst wird also jeweils zunächst das Product der Modificationen sein, die jene centralen Einwirkungen in der Correlation erregender und hemmender Innervationen, auf der die normale Selbstregulirung der Bewegungen beruht, hervorbringen. Am Herzen, wo zumeist in getrennten Bahnen, in den Fasern des Vagus und des aus dem Halsmark stammenden »Accelerans«, die hemmend und erregend auf die Herzbewegungen wirkenden Fasern verlaufen, liegen uns diese Verhältnisse am klarsten vor Augen. Wird z. B., wie beim Gefühl der Spannung, der Herzpuls gleichzeitig geschwächt und verlangsamt, so ist das ein Erfolg, den wir genau in derselben Weise durch eine künstliche Reizung der Vagusfasern von geeigneter Stärke herbeiführen können. Wir werden also berechtigt sein zu vermuthen, dass das Spannungsgefühl von einer Reizwirkung centraler, wahrscheinlich direct vom Apperceptionscentrum herstammender Fasern auf die Vaguscentren begleitet ist, worauf dann bei der Lösung mit dem plötzlichen Nachlass dieses Hemmungsreizes umgekehrt eine verstärkte Wirkung auf die Acceleranscentren compensatorisch eintritt. Beim Gefühl der Erregung sind es wahrscheinlich diese letztern, denen eine die Innervation verstärkende Wirkung zufließt, während bei der Beruhigung wohl gleichzeitig mit dem Aufhören dieser Wirkung eine Abnahme der tonischen Erregung der Vaguscentren und damit eine Herabsetzung der hemmenden und regulatorischen Innervation eintritt. Nicht minder dürften endlich die bei den Gefühlen der Lust und Unlust

beobachteten Erscheinungen auf einem Zusammenwirken der verschiedenen Innervationen beruhen. Denn die gesteigerten und zugleich verlangsamten Pulsschläge bei der Lust weisen auf eine gleichzeitige mäßige Reizung der hemmenden Vagusfasern und der Acceleransfasern hin, die sich in dem Maße compensiren, dass die durch die letztere gesteigerte Erregung in den höheren Pulswellen, die durch die erstere erzeugte Hemmung in den längeren Herzpausen zum Ausdruck kommt. Bei der Unlust sind aber die Erscheinungen denen, die der Aufhebung der regulatorischen Nerveneinflüsse, z. B. der Durchschneidung des Vagus bei Thieren, folgen, so sprechend ähnlich, dass wir in diesem Fall wohl in einer stark hemmenden Wirkung auf das Vaguscentrum die Hauptursache der Erscheinungen sehen dürfen. So entsprechen die Ausdruckserscheinungen im Gebiet des Herzens durchaus solchen, wie sie sich auch künstlich durch periphere Einwirkungen auf die nächsten Innervationscentren hervorbringen lassen. Damit ist aber zugleich, in Anbetracht der Beziehungen, in denen diese Centren stehen, die Möglichkeit einer analogen, von höheren Centren ausgehenden Beeinflussung erwiesen; und das nämliche gilt für die respiratorischen Erregungs- und Hemmungswirkungen. Weiter als zu einem solchen Nachweis einer in den physiologischen Bedingungen des Nervensystems gelegenen Zuordnung bestimmter Symptome zu bestimmten psychischen Inhalten reicht aber freilich der uns zu Gebote stehende Thatbestand nicht aus. Zur Erkenntniss der tieferen Beziehungen, die hier zwischen der psychischen Seite der Erscheinungen und ihrer physischen Außenseite obwalten, fehlt es noch ganz an der hierzu erforderlichen physiologischen Erforschung der centralen Functionsbedingungen.

Obgleich sich dieses Capitel zunächst nur mit den einfachen Gefühlen beschäftigt, so hängen doch die Eigenschaften dieser so eng mit dem allgemeinen Wesen der Gefühle zusammen, dass es geboten erschien, in den vorstehenden theoretischen Betrachtungen bereits auf die Frage nach der Stellung, die die Gefühle überhaupt im seelischen Leben einnehmen, einzugehen. Aus dem gleichen Grunde, und da gerade die einfachen Gefühle die entscheidenden Gesichtspunkte für die Beurtheilung des allgemeinen Gefühlsproblems an die Hand geben, mögen an dieser Stelle zugleich die wichtigsten Hypothesen über die Natur der Gefühle kurz besprochen werden. Wir können im allgemeinen vier solcher Hypothesen unterscheiden, zwischen denen freilich mannigfache Uebergänge vorkommen[1].

---

[1] Vgl. zu dem Folgenden CESCA, Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos., Bd. 10, 1886, S. 137 ff. BOBTSCHEFF, Die Gefühlslehre in ihren hauptsächlichsten Gestaltungen. Dissert. Leipzig. 1888. SAVESCU, Die Gefühlslehre in der neuesten französischen Psychologie. Dissert. ebend. 1900. M. BRAHN, Zeitschrift für Hypnotismus u. s. w. Bd. 4, 1896, S. 303. Bd. 5, 1897, S. 56 ff.

Nach der ersten ist das Gefühl eine besondere Bethätigung der Erkenntniss. Diese streng intellectualistische Auffassung ist wohl die ursprünglichste. Der Aristotelische Vergleich der Lust und des Schmerzes mit Bejahung und Verneinung, die Versuche der Stoiker, den Affect auf den Glauben an ein zukünftiges oder gegenwärtiges Glück oder Uebel zurückzuführen, weisen auf sie hin. In der neueren Zeit hat sie ebensowohl in dem Empirismus LOCKES und seiner Nachfolger, wie in der LEIBNIZ'schen Philosophie eine Stütze gefunden. Nach LOCKE[1] sind Lust und Schmerz einfache Vorstellungen, die sich auf die verschiedenen Zustände der Seele beziehen: wir sind freudig gestimmt, wenn der Besitz eines Gutes erreicht oder dessen baldige Erreichung gesichert ist, traurig, wenn wir an den Verlust eines Gutes denken, u. s. w. Seit HARTLEY und HUME gewann der Begriff der Association auch hier insofern einen förderlichen Einfluss, als er wenigstens das Moment der bewussten Reflexion gegenüber der Annahme eines gesetzmäßig wirkenden psychischen Mechanismus zurückdrängte[2]. Auf diesem durch die Associationspsychologie gewonnenen Standpunkte sind dann die führenden englischen Psychologen, JAMES MILL[3], HERBERT SPENCER[4], ALEXANDER BAIN[5], im wesentlichen stehen geblieben. Eine ähnliche, aber mehr metaphysisch gerichtete Umbildung vollzog LEIBNIZ, indem er das Gefühl mit seinem Begriff des unendlich Kleinen in Verbindung brachte und demnach Lust und Unlust zu den dunkeln Vorstellungen zählte[6]. An diese Gedanken hat noch HEGEL angeknüpft, wenn er das Gefühl eine dunkle Erkenntniss nannte[7]. Von WOLFF, dem der Begriff der dunkeln Vorstellung überhaupt widerstrebte, wurde dagegen das Gefühl wiederum als die intuitive Erkenntniss irgend einer wahren oder eingebildeten Vollkommenheit, die Unlust als das Gegentheil davon definirt[8], womit dann auch seine Begriffsbestimmung der Affecte übereinstimmt[9]. Diese Anschauungen blieben in der WOLFF-schen Schule maßgebend, bis TETENS und KANT dem Gefühlsvermögen eine selbständige Stellung anwiesen, und dadurch in der folgenden Zeit diejenige Auffassung zur Herrschaft brachten, die wir unten als die dritte kennen lernen werden. Nichtsdestoweniger beeinflusst die logische Theorie zum Theil noch die spätere deutsche Psychologie. So wenn KANT das Vergnügen ein Gefühl der Beförderung, den Schmerz das eines Hindernisses des Lebens nennt[10], oder wenn LOTZE diese Definition so modificirt, dass er das Gefühl auf eine unbewusste Beurtheilung der geförderten oder gestörten Harmonie der Lebensfunctionen bezieht[11]. Hiermit verwandt ist die Ansicht vieler

---

[1] LOCKE, Untersuchungen über den menschlichen Verstand, Buch II, Cap. XX.
[2] HUME, Treatise on human nature. Buch II.
[3] Analysis of the phenomena of the human mind. 1829.
[4] Principles of psychology[2]. 1870. Deutsche Ausg. 1882—86.
[5] The emotions and the will[2]. 1865.
[6] LEIBNIZ, Nouveaux essais, t. 2, 20, § 6. Opera phil. ed. ERDMANN, p. 248.
[7] HEGEL, Encyklopädie, Bd. 3. Werke, Bd. 7, 2, S. 165.
[8] WOLFF, Psychologia empirica, § 511, 518.
[9] Ebend. § 603 sq.
[10] KANT, Anthropologie, S. 144.
[11] LOTZE, Allgemeine Pathologie, S. 187, und Art. »Seele« in WAGNERS Handwörterbuch, Bd. 3, 1, S. 191. Später hat LOTZE diese Rückbeziehung auf einen Actus unbewusster Intelligenz zurückgedrängt und nun einfach das Gefühl selbst als eine Förderung oder Störung durch den Reiz bestimmt. (Medicinische Psychologie, S. 234.) Hierdurch

Psychologen von der Natur des Gemeingefühls, das meistens mit mehr oder weniger deutlichen Anklängen an LEIBNIZ' dunkle Perceptionen, bald als ein unmittelbares Bewusstsein unseres eigenen Bewegens und Befindens[1], bald als eine Summe kleiner Empfindungen[2], bald als ein Kampf dieser, die sich zum Bewusstsein drängen[3], geschildert wird. Gegen alle diese logischen Theorien ist der entscheidende Einwand, dass sie lediglich über die objective Ursache der Gefühle reflectiren, um dann das Ergebniss dieser Reflexion für das ursprüngliche Wesen derselben zu halten. Wenn WOLFF z. B. die Lust eine intuitive Erkenntniss der Vollkommenheit nennt, so hat er zuerst das objectiv Angenehme als das Vollkommene bestimmt, worauf dann das Gefühl in irgend einer, wenn auch dunkeln, Erkenntniss dieses Begriffs bestehen soll. Dabei ist aber offenbar der wirkliche Vorgang umgekehrt, da das Gefühl jedenfalls ursprünglicher ist als der Begriff des Angenehmen oder Unangenehmen. In jenen Modificationen der logischen Hypothese, die dasselbe aus einer Förderung und Hemmung der Lebensfunctionen u. dergl. ableiten, wird es endlich ohne Rücksicht auf seine fundamentale psychologische Bedeutung zu einem gewissermaßen zufälligen Nebeneffect irgend welcher physiologischen Nervenprocesse gemacht. So lange nicht gesagt ist, worin jene Förderung und Hemmung besteht, wie in den älteren Hypothesen[4], tritt dieser Mangel weniger zu Tage, als wenn ernstlich der Versuch gemacht wird, an bekannte Thatsachen der Nervenphysiologie anzuknüpfen, wie in einigen neueren Theorien dieser Richtung. In diesem Fall geht dann aber zugleich diese erste in irgend eine Form der vierten Hypothese über, wo wir darauf zurückkommen werden.

Nach der zweiten Hypothese beruht das Gefühl auf einer Wechselwirkung der Vorstellungen. Bezeichnet man die Empfindungen als elementare Vorstellungen, so entspringen demnach schon die Gefühlstöne dieser nicht aus den Vorstellungen selbst, sondern aus ihrem Verhältniss zu einander. Nachdem längst gewisse ästhetische Gefühle, wie z. B. die an die Tonintervalle geknüpften, auf ein Verhältniss der Eindrücke zurückgeführt worden waren[5], hat HERBART[6] diese Theorie auf alle Formen des Gefühls ausgedehnt. Er unterscheidet Gefühle, die an die Beschaffenheit des Gefühlten geknüpft sind, von solchen, die von der Gemüthslage abhängen. Zu den ersteren rechnet er die ästhetischen und die sinnlichen, welche beide darauf beruhen sollen, dass sie sich aus Partialvorstellungen zusammensetzen,

---

nähert sich seine Anschauung einer Modification der KANT'schen Theorie, die W. HAMILTON vertritt (Lectures on Metaphysics[5], vol. 2, p. 444 f.), und der in wieder etwas veränderter Gestalt auch L. DUMONT und ALFR. LEHMANN sich anschließen. (L. DUMONT, Vergnügen und Schmerz. Intern. wiss. Bibl. 1876. A. LEHMANN, Die Hauptgesetze des menschlichen Gefühlslebens. 1892, S. 143 ff.)

[1] GEORGE, Die fünf Sinne. 1846, S. 44 ff., und Lehrbuch der Psychologie. 1854, S. 231. Verwandt ist TRENDELENBURGS Lehre vom unmittelbaren Bewusstsein der Muskelbewegungen. (Logische Untersuchungen[2], Bd. 1, S. 235 ff.)

[2] LOTZE, Medicinische Psychologie, S. 281.

[3] WAITZ, Grundlegung der Psychologie. 1846, S. 64, und Lehrbuch der Psychologie. 1849, § 9 und 10.

[4] ULRICI, Leib und Seele. 1866, S. 448.

[5] ARISTOTELES, De anima, 3, 2.

[6] Lehrbuch zur Psychologie, und Psychologie als Wissenschaft. HERBARTS Werke, Bd. 5 und 6.

die sich aber nur bei den ästhetischen deutlich im Bewusstsein von einander sondern lassen, während sie bei den sinnlichen ungesondert bleiben. Aus der Gemüthslage dagegen entspringen die Affecte[1]. Indem HERBART einerseits den Einfluss, den die Bewegung der Vorstellungen im Bewusstsein auf die Gemüthsstimmung ausübt, und anderseits die Bedeutung, die bei der ästhetischen Wirkung gewissen Verhältnissen der Vorstellungen zukommt, hervorhob, hat er auf eine Seite der Gefühlsbedingungen hingewiesen, die in den bisherigen Theorien nicht gehörig beachtet war. Aber seine eigene Theorie musste nicht minder einseitig werden, da er dieses Moment zum einzigen Angelpunkt der Gefühle machte. Dies macht sich denn auch in der ungenügenden Erklärung zahlreicher Gefühlszustände geltend. Von den Affecten behauptet HERBART, sie seien bloß von der gegenseitigen Förderung oder Hemmung der Vorstellungen abhängig, nicht vom Inhalt des Vorgestellten. Eine unbefangene Beobachtung wird aber niemals zugeben, dass Freude und Trauer, Hoffnung und Furcht bloß formale Gefühle seien, bei denen der qualitative Inhalt unseres Bewusstseins nicht in Betracht komme. Bei den sinnlichen Gefühlen vollends hat HERBART die Entstehung aus einem Verhältniss von Partialvorstellungen willkürlich angenommen und sich mit der Behauptung, dieses Verhältniss gelange nicht zum Bewusstsein, der näheren Nachweisung entzogen. Hier sind daher auch nicht alle seine Jünger dem Meister treu geblieben, sondern einige Psychologen seiner Schule trennten das sinnliche Gefühl als »Ton der Empfindung« völlig von den eigentlichen Gefühlen[2]. Verwandt mit der Auffassung HERBARTS ist die BENEKES, nach der das Gefühl in dem unmittelbaren Sich-gegen-einander-messen der Seelenthätigkeiten, also wesentlich in einem formalen Verhältniss bestehen soll[3].

Von der Einsicht in die Wichtigkeit des im Gefühl unmittelbar gegebenen realen Inhalts geht nun die dritte Hypothese aus, die sich damit vor allem der formalistischen principiell gegenüberstellt. Sie bezeichnet das Gefühl als den Zustand, in den die Seele durch ihre Empfindungen und Vorstellungen versetzt werde. Dasselbe ist ihr daher die subjective Ergänzung der objectiven Empfindungen und Vorstellungen. Sobald nun in dem Gefühl nicht bloß ein Zustand der Seele, sondern zugleich die Auffassung dieses Zustandes als eines subjectiven gesehen wird, so liegt darin außerdem eine Verbindung mit der ersten Hypothese vor, da eine solche Auffassung immer eine, wenn auch dunkle, Erkenntniss voraussetzt. In der That vermengt sich diese Ansicht in der älteren Psychologie fortwährend mit der logischen Theorie. Erst KANT, der in seiner Kritik die objectiven und subjectiven Elemente des Erkennens schärfer als früher zu sondern versuchte, hat auch die subjective Bedeutung des Gefühls entschiedener betont, und seine Auffassung ist bei den nicht zur HERBART'schen Schule gehörigen deutschen Psychologen im allgemeinen zur herrschenden geworden. Aber diese Hypothese greift auf die metaphysische Substanz der Seele bei einem Punkte zurück, wo hierzu weder ein Anlass geboten noch

---

[1] A. a. O. Bd. 6, S. 110. Vgl. außerdem Bd. 5, S. 369, 378, 394, 438.

[2] W. F. VOLKMANN, Lehrbuch der Psychologie[2]. 1875, S. 236. NAHLOWSKY, Das Gefühlsleben, S. 27.

[3] BENEKE, Psychologische Skizzen. Bd. 1, 1825, S. 31. Lehrbuch der Psychologie[3]. 1861, S. 170.

auch wegen der sonstigen Vorbedingungen für die Bestimmung jenes Begriffs schon Raum ist. Will man sich daher auf das beschränken, was erfahrungsmäßig dem subjectiven Bestimmtsein durch die objectiven Empfindungen und Vorstellungen zu Grunde liegt, so bleibt nur das Selbstbewusstsein als solches übrig. Darnach wird das Gefühl als diejenige Seite des Selbstbewusstseins definirt, die sich auf den eigenen Zustand des vorstellenden Subjects bezieht[1]. Aber dem widerstreitet die Thatsache, dass das Gefühl zu den ursprünglichsten Erlebnissen gehört, während sich das Selbstbewusstsein verhältnissmäßig spät entwickelt, und mit Recht hob daher besonders A. HORWICZ hervor, dass im Gegentheil das Gefühl auf die Ausbildung des Selbstbewusstseins von bestimmendem Einflusse sei[2]. HORWICZ selbst glaubte darum das Verhältniss geradezu umkehren zu sollen[3]. Er sah die Gefühle als selbständige, und zwar als die ursprünglichsten inneren Zustände an, aus denen sich die Empfindungen und Vorstellungen entwickeln sollten. Doch ist damit nicht minder nach der andern Seite eine Unabhängigkeit des Gefühls von dem übrigen Inhalt des Bewusstseins angenommen, die unserer unmittelbaren Erfahrung durchaus widerstreitet[4].

Als eine vierte Hypothese lässt sich endlich jene betrachten, die das Gefühl auf eine bestimmte physische Nebenwirkung der Empfindungsreize zurückführt. Da von den Anhängern dieser Theorie zugestanden wird, dass das Gefühl als solches ein eigenthümlicher Bewusstseinszustand sei, so verbindet oder berührt sich diese in der Regel zugleich mit irgend einer der vorangegangenen Theorien. Sie selbst ist wieder in drei Modificationen aufgetreten. Nach der ersten ist das Gefühl eine Empfindungsqualität, und zwar die allgemeinste, weil sie an jede Art von Reizung sensibler Nerven, an die einen mehr, an die andern weniger gebunden sei. Doch gelten besonders die Nerven der Haut und der an den Gemeinempfindungen betheiligten inneren Organe als die Träger dieser Gefühlsqualität, die in ihren intensivsten Formen als Schmerz, in ihren schwächeren als Lust erscheine[5]. Unverkennbar ist diese Auffassung der Reflex der in der Physiologie namentlich durch JOH. MÜLLER und E. H. WEBER zur Aufnahme gelangten Lehre vom Gemeingefühl (siehe oben S. 346). Dass bei dieser Theorie die früher erwähnte Vermengung der Begriffe Empfindung und Gefühl und nebenbei noch die ältere Bedeutung des Wortes »Gefühl«, nach der Fühlen und Tasten identisch sind, eine gewisse Rolle spielt, ist augenfällig. Die exactere Scheidung dieser Begriffe, die in der neueren Psychologie eingetreten ist, hat daher im allgemeinen den Uebergang von dieser zu einer der folgenden Modificationen veranlasst. Unter ihnen trägt die zweite der Sonderung von Empfindung und Gefühl dadurch Rechnung, dass sie das Gefühl auf einen specifischen Nervenprocess zurück-

---

[1] Die hier angedeutete Modification der dritten Hypothese ist es, die ich selbst in der 1. Aufl. meiner »Vorlesungen über die Menschen- und Thierseele« (1863, Bd. 2) der Erörterung der Gefühle zu Grunde gelegt habe.

[2] A. HORWICZ, Psychologische Analysen auf physiologischer Grundlage. Bd. 1, 1872, S. 231 ff.

[3] Psychologische Analysen. Bd. 2, 2, 1878.

[4] Vgl. meine Kritik dieser Theorie in Vierteljahrsschrift f. wiss. Philosophie, Bd. 3, 1879, S. 129, 308 und 342, und dieses Werk[4], Bd. 1, S. 596.

[5] DOMRICH, Die psychischen Zustände. 1849, S. 163. HAGEN, Psychologische Untersuchungen. 1842, S. 59. M. VON FREY, Die Gefühle und ihr Verhältniss zu den Empfindungen. 1894.

führt, der die Intensität und Qualität der Erregung begleite[1]. Für diese Annahme sollen namentlich jene Erfahrungen eintreten, die für eine Verminderung oder Aufhebung des Gefühlstones in Fällen zu sprechen scheinen, in denen die übrigen Eigenschaften der Empfindung erhalten bleiben, wie bei der sogenannten Analgesie. Nun hat aber die Zurückführung dieser auf die Functionsunterbrechung specifischer Nervenfasern nur geringe Wahrscheinlichkeit für sich (vgl. S. 45). Vielmehr weisen die Erscheinungen auf centrale Bedingungen hin. Dazu kommt, dass überhaupt die physischen Begleiterscheinungen des Gefühls ohne eine Mitbetheiligung des Centralorgans, die auf die Centren der Athmung, der Blutgefäßinnervation, des Herzens übergreift, nicht erklärlich sind. Damit werden wir aber von selbst zu einer dritten Modification dieser physiologischen Hypothese geführt, die das Gefühl als eine an bestimmte centrale Gehirnvorgänge gebundene Bewusstseinsqualität ansieht. Hier ging man zunächst von den äußerlich sichtbaren Ausdrucksbewegungen aus. Die einfachste Art, diese für die Gewinnung einer physiologischen Theorie der Gefühle zu verwerthen, war die, dass man das gewöhnlich angenommene Causalverhältniss zwischen den Gefühlen und den Affect- und Triebbewegungen umkehrte: irgend ein Sinnesreiz, sagt man, veranlasst durch eine centrale Reflexwirkung äußere Bewegungen, die von seiner Qualität und Intensität abhängen; diese Bewegungen verursachen Empfindungen in den Muskeln und in den andern am Gemeingefühl betheiligten Organen, und diese Empfindungen sind es nun, denen wir je nach ihrer Beschaffenheit den Charakter von Lust- oder Unlustgefühlen beilegen. »Wir weinen nicht«, wie W. JAMES sagt, »weil wir traurig sind, sondern wir sind traurig, weil wir weinen«[2]. Die Veränderungen der Athmungs- und Herzbewegungen sowie der Gefäßinnervation wurden dann unter den nämlichen Gesichtspunkt gebracht. So suchte C. LANGE[3] namentlich auf die vasomotorischen Wirkungen der Reize alle Gefühle und Gemüthsbewegungen zurückzuführen. Die Verwandtschaft dieser Anschauungen mit der ersten Form der physiologischen Theorie ist augenfällig: denn wiederum sollen hier bestimmte Empfindungen der Muskeln und anderer innerer Organe als eine nicht weiter zu erklärende Eigenthümlichkeit ihrer Qualität den Lust- oder Unlustcharakter besitzen. Der einzige Unterschied liegt darin, dass man den centralen Ursprung dieser Empfindungen betont. Darin liegt dann zugleich der Keim zu weiteren Modificationen, bei denen überhaupt nur noch die centralen Innervationswirkungen eine Rolle spielen. Zu diesem Uebergang ist um so mehr Anlass gegeben, als, wie ALFR. LEHMANN zuerst hervorhob, die

---

[1] LOTZE, Medicinische Psychologie, S. 233. OSW. KÜLPE, Vierteljahrsschr. f. wiss. Philosophie, Bd. 11, S. 424. Bd. 12, S. 50 ff. Auch die Ansichten einiger französischer Psychologen, wie RICHET (Essai de Psychol. générale, 1891), DUMONT (Théorie scientif. de la sensibilité etc. 1872, deutsch u. d. T. Vergnügen und Schmerz, 1876), TAINE (De l'intelligence, t. 1, 1892) gehören im wesentlichen hierher. Endlich lässt sich zur gleichen Kategorie von Hypothesen noch die Annahme MÜNSTERBERGS zählen, dass die Gefühle speciell an die Muskelempfindungen geknüpft seien, und zwar die Lustgefühle an die Action der Extensoren, die Unlustgefühle an die der Flexoren (Beitr. zur exper. Psychol., Heft 4, 1892, s. oben S. 302 Anm. 2), eine Hypothese, die noch neuerdings von DEARBORN vertheidigt worden ist (The Emotion of Joy. Psychol. Rev. Suppl. vol. 2, Nr. 5, 1899).

[2] W. JAMES, Mind. 1884, p. 188. Psychology. vol. 2, 1890, p. 442 ff.

[3] C. LANGE, Ueber Gemüthsbewegungen. Deutsch von H. KURELLA. 1887. Vgl. dazu meine kritischen Bemerkungen, Philos. Stud. Bd. 6, 1891, S. 349 ff.

Untersuchung der Ausdruckssymptome unwidersprechlich zeigt, dass diese den subjectiven Erscheinungen nachfolgen, nicht vorausgehen, wie jene Theorie fordern würde. (Man vergleiche auch die plethysmographischen Curven S. 293 ff.) So gab denn LEHMANN[1] selbst dieser Hypothese wieder eine allgemeinere Fassung, in der sie gewissermaßen zu einer auf die Nervencentren übertragenen Modification der oben erwähnten ersten Form physiologischer Hypothesen wird. Danach sollen die Unlustgefühle ein centrales Symptom dafür sein, dass die Empfindung von einer Destruction der peripheren Organe oder von verderblichen Einwirkungen auf die Nervenleitung begleitet sei; Lust dagegen sei vorhanden, wenn das Sinnesorgan nicht überanstrengt werde. Aehnlich ist die Auffassung von TH. RIBOT[2], der überdies besonders die Rolle betont, die den Gefühlen in der allgemeinen Entwicklung der organischen Functionen zukomme. Die Gefühle werden so gewissermaßen als centrale Signale für das Wohl- oder Uebelergehen des psychophysischen Organismus aufgefasst. Damit kehrt diese Ansicht im wesentlichen zu der obigen zweiten Form der physiologischen Theorie zurück. Sie unterscheidet sich von ihr nur durch die Hervorhebung des centralen Sitzes der zu Grunde liegenden physiologischen Veränderungen. Ins Psychologische übersetzt fallen aber alle diese Ansichten mehr oder weniger mit jener logischen Theorie zusammen, nach der Lust und Unlust in einer dunklen Erkenntniss des Nützlichen oder Schädlichen ihre Quelle haben. Eine eigenthümliche Umformung hat endlich noch TH. MEYNERT der centralen Theorie der Gefühle gegeben, von der hier als das wesentliche nur hervorgehoben sein mag, dass nach ihr die functionelle Gehirnhyperämie, welche die gesteigerte Function des Organs begleitet, unmittelbar als Glücksgefühl, die durch die Verengung der Hirngefäße erzeugte Anämie als traurige Stimmung empfunden werden soll[3]. Nun wird man allen diesen Hypothesen, so willkürlich sie sind, doch den einseitig psychologischen Theorien der Gefühle gegenüber das Verdienst nicht absprechen können, dass sie auf die niemals fehlenden physischen Grundlagen der Gefühlsvorgänge energisch hingewiesen haben. Selbst die paradoxe Umkehrung der von der spiritualistischen Psychologie angenommenen Causalität der Gefühle, wie sie JAMES und C. LANGE versuchten, hat wenigstens das relative Verdienst, dass sie die verstärkende Wirkung hervorhebt, die den die Ausdrucksbewegungen begleitenden gefühlsstarken Empfindungen zukommt, wenn auch freilich lange zuvor schon diese Wirkung bekannt gewesen ist[4]. Der Grundmangel der physiologischen Gefühlstheorien überhaupt liegt aber offenbar darin, dass von ihnen entweder ganz allgemein die Nervenprocesse oder unmittelbare Nebeneigenschaften der centralen Sinneserregungen zu Trägern seelischer Zustände gemacht werden, ohne dass man über das Wie dieses Zusammenhangs Rechenschaft gibt. Zudem ist die Betrachtungsweise bei dieser, wie bei allen vorangegangenen Theorien, dadurch von vornherein eine einseitige, dass andere Gefühle als Lust und Unlust überhaupt nicht unterschieden werden. Sobald man nun diese Schablone der Lust-Unlust als unzulänglich anerkennt, wie dies, außer von dem Verfasser des vorliegenden Werkes, in neuerer Zeit von verschiedenen

---

[1] LEHMANN, Die Hauptgesetze des Gefühlslebens. 1892, S. 143 ff.
[2] TH. RIBOT, La Psychologie des sentiments[2]. 1897.
[3] TH. MEYNERT, Klinische Vorlesungen über Psychiatrie. 1890, S. 6 ff.
[4] Vgl. eine Stelle aus LESSING, die ich in meinen »Essays«, S. 234, angeführt habe.

Psychologen übereinstimmend geschieht, so sind es nun auch wesentlich neue Anforderungen, die an eine Theorie der Gefühle herantreten. Die oben entwickelte Auffassung hat diesen Anforderungen zu entsprechen gesucht, indem sie psychologisch die Gefühle mit dem Process der Apperception, physiologisch mit den Functionen des auch aus andern Gründen hypothetisch anzunehmenden Apperceptionscentrums in Beziehung brachte. Natürlich können dann eine Menge physiologischer Wirkungen, die, wie die vasomotorischen, die mimischen Ausdrucksbewegungen, von manchen Vertretern der physiologischen Theorie als die primären angesehen wurden, nur noch als secundäre, aus den vielseitigen Verbindungen des Apperceptionscentrums sich erklärende Erscheinungen betrachtet werden, die jedoch dem ursprünglichen Vorgang immerhin auch weitere psychische Componenten hinzufügen. Eine besonders beachtenswerthe Bestätigung der oben dargestellten Ergebnisse darf endlich wohl darin gesehen werden, dass O. VOGT unabhängig und auf einem von dem hier verfolgten wesentlich abweichenden Wege, nämlich durch die subjective Analyse der Gefühle in der Hypnose, zu Resultaten gelangt ist, die hinsichtlich der Hauptrichtungen der Gefühle ganz mit den obigen übereinstimmen. Vom psychopathologischen Standpunkte aus hat überdies O. BINSWANGER eindringlich auf die Unzulänglichkeit der herkömmlichen Lust-Unlusttheorie hingewiesen[1].

---

[1] Vgl. die erste, vorläufige Darstellung des dreidimensionalen Systems der Gefühle in meinem Grundriss der Psychologie, § 7 (1. Aufl. 1896), dazu Philos. Stud. Bd. 15, 1899, S. 149 ff. Ferner O. VOGT, Zeitschr. f. Hypnotismus, Bd. 5, 1897, S. 7, 180 ff. M. BRAHN, Philos. Stud. Bd. 18, 1901, S. 127 ff. Ueberhaupt ist das Streben, die Schranken der Lust-Unlust zu durchbrechen, in der neueren Psychologie auch sonst nicht zu verkennen. So z. B. bei TH. ZIEGLER, Das Gefühl. 1893. REHMKE, Zur Lehre vom Gemüth. 1898. BINSWANGER, Die psychologische Denkrichtung in der Heilkunde. Rectoratsrede. Jena 1900. TH. LIPPS, Selbstbewusstsein, Empfindung und Gefühl. 1901. (Grenzfragen des Nerven- und Seelenlebens, herausg. von LÖWENFELD und KURELLA, Heft 9.) Vom Fühlen, Wollen und Denken. 1902. (Schriften der Ges. f. psychol. Forschung, Heft 13 u. 14.) Namentlich die letztere Schrift, die mir erst nach der Drucklegung dieses Capitels zugeht, stimmt, bei vielen Abweichungen im einzelnen, in der Grundanschauung über Wesen und Bedeutung der Gefühle durchaus mit den obigen Ausführungen überein. Vielleicht ist diese Uebereinstimmung um so bemerkenswerther, als beide Untersuchungen entgegengesetzte Wege eingeschlagen haben, indem LIPPS nicht, wie es hier geschehen ist, von der Analyse der einzelnen Gefühlsthatsachen, sondern von den Grundphänomenen der Apperception ausgeht, um diese in die der Selbstbeobachtung gegebenen Gefühlselemente zu zergliedern.

Dritter Abschnitt.

Von der Bildung der Sinnesvorstellungen.

Zwölftes Capitel.

Intensive Gehörsvorstellungen.

1. Die Gehörsvorstellungen als intensive Vorstellungsverbindungen.

a. Allgemeines über Begriff und Formen der Vorstellung.

Der allgemeine Sprachgebrauch begreift unter einer Vorstellung das in unserm Bewusstsein erzeugte Bild eines Gegenstandes. Die Psychologie muss diesen Begriff, um ihm alle ihm an und für sich fremden Reflexionsmotive fern zu halten, in jenem allgemeinsten Sinne verstehen, in dem er ebensowohl Sinneswahrnehmungen wie Erinnerungs- und Phantasiebilder umfasst, da es nirgends durchgreifende thatsächliche Merkmale gibt, durch die sich diese verschiedenen Arten von Vorstellungen unterscheiden[1]. Bei dem »Bild eines Gegenstandes« muss sie aber dessen eingedenk bleiben, dass dieser Ausdruck selbst ein bildlicher ist. Die Vergleichung mit einem Gegenstand und seinem Bild im Spiegel soll hier nur die Beziehung auf Objecte außerhalb des Bewusstseins als eine wesentliche Eigenschaft der Vorstellungen hervorheben, durch die sie von der zweiten großen Classe zusammengesetzter psychischer Gebilde, von den unmittelbar auf Zustände des Bewusstseins selbst bezogenen Gemüthsbewegungen, unterschieden werden. Dagegen abstrahirt jene Vergleichung ganz von dem Umstande, dass der Gegenstand und sein Spiegelbild in Wirklichkeit zwei Objecte sind, die darum auch

[1] Vgl. Bd. 1, S. 345 f.

gleichzeitig von uns wahrgenommen werden können, während die Außenwelt dem Bewusstsein überhaupt nur in seinen Vorstellungen anschaulich gegeben ist, so dass hier das »Bild des Gegenstandes« mit dem Gegenstand selber zusammenfällt. Darum begründet es nun auch keinen wesentlichen Unterschied in den Eigenschaften der Vorstellung selbst, wenn dieser in gewissen Fällen, wie wir auf Grund secundärer Merkmale erkennen, ein wirkliches Object überhaupt nicht entspricht. Alle diese Vorstellungen ohne wirklich existirende Objecte, mögen wir sie nun nach jenen ferneren Merkmalen als Hallucinationen, als Erinnerungs- oder als Phantasiebilder bezeichnen, werden an sich ganz so wie die unmittelbaren Sinnesvorstellungen als Gegenstände mit objectiv gegebenen Eigenschaften aufgefasst. Außerdem lehrt die Erfahrung, dass sie entweder in ihrer Totalität oder in ihren einzelnen Theilen auf früher da gewesene unmittelbare Sinnesvorstellungen, sogenannte »Sinneswahrnehmungen«, zurückgehen, insofern mindestens die Empfindungen, aus denen sie sich zusammensetzen, irgend einmal durch Empfindungsreize entstanden sein müssen, um dem Bewusstsein verfügbar zu bleiben. Dabei ist der Begriff des Empfindungsreizes wiederum in jenem allgemeinsten Sinne zu nehmen, in welchem er nicht bloß die Einwirkungen auf die eigentlichen Sinnesorgane, sondern auch die in den inneren, mit sensibeln Nerven ausgerüsteten Organen des Körpers entstehenden Reize umfasst[1]. Wegen dieser Abhängigkeit aller Vorstellungen von unmittelbar vorhandenen oder mindestens einmal vorhanden gewesenen äußeren Empfindungsreizen bezeichnet man denn auch diejenigen Vorstellungen, denen kein wirklich gegebener objectiver Eindruck entspricht, sämmtlich als reproducirte Vorstellungen. Doch muss freilich diesem Ausdruck von vornherein die Warnung beigefügt werden, dass man ihm, da er eben nur das Erzeugniss einer ersten oberflächlichen Unterscheidung auf Grund secundärer Merkmale ist, keinen für die psychologischen Eigenschaften der Vorstellungen irgendwie endgültigen Werth zuschreiben darf. Vielmehr werden wir uns genugsam überzeugen, dass es in unserer Erfahrung keine einzige unmittelbare Sinnesvorstellung gibt, in die nicht irgend welche reproductive Elemente eingehen, und dass ebenso in den meisten, wenn nicht in allen Fällen das, was man, an der Totalität der Merkmale gemessen, eine »reproducirte Vorstellung« nennt, von irgend welchen äußeren Sinneserregungen begleitet ist. Diese thatsächliche Unmöglichkeit, die Grenzen zwischen unmittelbaren und reproducirten Vorstellungen irgendwie strenge zu ziehen, hängt enge mit einer andern Eigenschaft zusammen, auf die früher schon hingewiesen wurde, und die zu übersehen

[1] Vgl. Bd. 1, S. 361 f.

schon das Wort »Vorstellung« und noch mehr jene geläufige Auffassung, diese sei das »Bild eines Gegenstandes«, so leicht verführt[1]. Unsere Vorstellungen sind, so wenig wie unsere Gemüthsbewegungen, ruhende Objecte, sondern sie sind zeitlich verlaufende, in keinem einzigen Moment stillstehende Vorgänge; und indem bei diesem unablässigen Wechsel meist einzelne ihrer Elemente bleibender sind als andere, kann es zugleich geschehen, dass den direct gegebenen Bestandtheilen eines Sinneseindrucks in veränderlicher Weise reproductive sich beimischen. Aus allem dem ergibt sich die Analyse der direct in den Sinneseindrücken und den ihnen entsprechenden Empfindungen gelegenen Bedingungen der Vorstellungsbildung als die nächste und einfachste Aufgabe für die Untersuchung dieser objectiven Classe psychischer Gebilde. Wenn nun gleich schon hier, in Anbetracht jenes nirgends durch feste Grenzen zu scheidenden Charakters der Vorstellungen, vielfach diese Analyse auf mitwirkende associative Einflüsse vorausgegangener Vorstellungen und Vorstellungselemente zurückführen wird, so muss gleichwohl die selbständige Betrachtung dieser Einflüsse der späteren Untersuchung des gesammten Zusammenhangs der Bewusstseinsvorgänge überlassen bleiben, wobei denn auch die verschiedenen Arten sogenannter »reproducirter Vorstellungen« erörtert werden sollen. Was an diesen letzten der eigentlichen Vorstellungsbildung angehört, das ist aber, in Folge der oben bemerkten wesentlichen Uebereinstimmung aller Vorstellungen, an und für sich in dem schon enthalten, was für die Bildung der unmittelbaren Sinnesvorstellungen gilt. Dagegen bilden wiederum nur die letzteren wegen der bei ihnen möglichen willkürlichen Variation der Empfindungsreize die erforderlichen Angriffspunkte für die experimentelle Analyse der Erscheinungen.

b. Intensive und extensive Vorstellungen.

Im vorigen Abschnitt haben wir die Empfindungen als die Elemente der Vorstellungen kennen gelernt[2]. Abstrahiren wir von den an die Empfindungen und Vorstellungen in wechselnderer Weise gebundenen Gefühlselementen, so ist jede Vorstellung in Empfindungen zerlegbar, und die Empfindungen selbst sind uns hinwiederum in der Wirklichkeit immer nur als Elemente von Vorstellungen gegeben. Damit ist zugleich die der Lehre von der Bildung der Sinnesvorstellungen zu stellende Aufgabe klar bezeichnet. Diese Aufgabe ist eine doppelte: eine analytische und eine synthetische. Jene hat die Empfindungselemente aufzuzeigen,

---

[1] Vgl. Bd. 1, S. 339 f.
[2] Bd. 1, S. 350 ff.

die sich in den Hauptformen der in unserem Bewusstsein vorkommenden Vorstellungen und in ihren wichtigeren einzelnen Gestaltungen vorfinden. Diese hat darzuthun, wie sich diese Elemente mit einander zu complexen Gebilden verbinden, und wie sie sich dabei durch die Einflüsse verändern, die sie theils auf einander ausüben, theils von den sonst im Bewusstsein vorhandenen Anlagen aus erfahren. Das Hauptziel dieses synthetischen Theils der Untersuchung besteht so schließlich in der Aufzeigung der specifischen Beschaffenheit der einzelnen Grundformen unserer Sinnesvorstellungen und ihres Verhältnisses zu den in sie eingehenden Empfindungselementen. Hierbei hat natürlich die Annahme, dass die Vorstellungen lediglich aus einer Summe von Empfindungen bestehen, von vornherein als eine zwar mögliche, aber keineswegs nothwendige und kaum wahrscheinliche zu gelten. Vielmehr wird immer erst aus den Eigenschaften der entstehenden Producte, der Vorstellungen selber, und aus den Bedingungen, unter denen diese sich verändern, auf die Natur der stattfindenden Verbindungsprocesse zurückzuschließen sein. Die hier zu befolgende Maxime besteht somit lediglich darin, dass die Voraussetzungen über die psychischen Processe der Vorstellungsbildung über alle die Einflüsse Rechenschaft geben müssen, welche die experimentelle Variation der Bedingungen als thatsächlich stattfindende nachweist. Ebenso ist nun aber die bei dem analytischen Theil dieser Untersuchung zunächst vollführte Abstraction von den Gefühlselementen des Bewusstseins selbstverständlich nur so lange festzuhalten, als sich nicht bei der Analyse der Vorstellungen selbst ein bestimmender Einfluss derselben herausstellt. In der That werden wir sehen, dass bei einer sehr wichtigen Classe von Vorstellungen, bei denen des zeitlichen Geschehens, dieser Einfluss bestimmter Gefühle ein durchaus maßgebender ist, so dass man im Hinblick hierauf den zeitlichen Vorstellungen einen gemischten, zum Theil schon in das Gebiet der im nächsten Abschnitt zu betrachtenden Gemüthsbewegungen herüberreichenden Charakter zuschreiben kann.

Suchen wir nun mit Rücksicht auf die oben bezeichneten allgemeinen Aufgaben einer Theorie der Vorstellungsbildung die mannigfaltigen Erscheinungen dieses Gebietes in bestimmte Gruppen zu sondern, so können für eine solche Classification die zwei Gesichtspunkte in Betracht kommen, die durch jene Gliederung der Aufgabe in einen analytischen und in einen synthetischen Theil an die Hand gegeben werden. Geht man von dem ersteren aus, so scheiden sich die Vorstellungen ohne weiteres nach einzelnen Sinnesgebieten, deren Empfindungssysteme ihre wesentlichen Substrate bilden. Auf diese Weise sind die hergebrachten Unterscheidungen der Tast-, Gehörs-, Gesichtsvorstellungen u. s. w. entstanden. Legt man dagegen den synthetischen Gesichtspunkt zu Grunde, so werden

vielmehr die eigenthümlichen Verbindungsweisen der Empfindungen maßgebend sein, gleichgültig wie diese selber beschaffen sind. Hier lassen sich dann nach den unmittelbaren Eigenschaften der Vorstellungen selbst ohne weiteres drei Gruppen unterscheiden: eine erste, bei der sich die in eine Vorstellung eingehenden Empfindungen zu einem Ganzen verbinden, das, wie jedes der sie constituirenden Elemente, lediglich qualitative und intensive Eigenschaften erkennen lässt, und wo demnach der Unterschied dieses Vorstellungsganzen von einer einfachen Empfindung nur darin besteht, dass die Qualität und Intensität desselben von zusammengesetzter Beschaffenheit sind: wir wollen die so entstehenden Gebilde als intensive Vorstellungen bezeichnen. Ihnen stehen als zwei weitere Gruppen die räumlichen und die zeitlichen Vorstellungen gegenüber, die wir beide wieder unter dem Gesammtbegriff der extensiven Vorstellungen zusammenfassen können. So ergeben sich zunächst als die beiden Hauptclassen die intensiven und die extensiven Vorstellungen, worauf sich dann den letzteren wieder die räumlichen und die zeitlichen unterordnen.

Nun erhellt ohne weiteres, dass diese synthetische Classification mit der analytischen nach den Empfindungsgebieten schon deshalb in keinem Punkte zusammentreffen kann, weil jede Vorstellung, welchem Sinnesgebiet sie auch zunächst angehören mag, in jede der synthetischen Gruppen zugleich fällt. So ist z. B. jede Gehörsvorstellung eine intensive Verbindung, insofern ihre Qualität und Intensität unmittelbar durch die qualitativen und intensiven Eigenschaften der in sie eingehenden Tonempfindungen bedingt wird; sie hat aber stets zugleich eine bestimmte zeitliche Dauer, und wir beziehen sie im allgemeinen auch auf eine Richtung oder selbst auf einen Ort im Raume. So ist ferner jede Gesichtsvorstellung wiederum eine intensive Verbindung verschiedener Lichtempfindungen, in die zugleich, wie wir sehen werden, aller Wahrscheinlichkeit nach stets noch andere Empfindungen eingehen, die an die Stellungen und Bewegungen des Auges geknüpft sind; sie zeigt aber außerdem in sehr ausgeprägter Weise eine räumliche Ordnung ihrer Bestandtheile, und es fehlen endlich auch ihr nicht die zeitlichen Eigenschaften, u. s. w. Darum sind die Begriffe intensive, extensive, räumliche und zeitliche Vorstellungen wiederum, analog wie die der reinen Empfindungen, Ergebnisse einer Abstraction, nur gewissermaßen einer Abstraction zweiter Ordnung, insofern dabei nicht auf die letzten, weiterhin unzerlegbaren Elemente der Vorstellungen, sondern auf gewisse Richtungen der Vorstellungsverbindung zurückgegangen wird, während die andern, in Wirklichkeit niemals fehlenden Richtungen zunächst außer Betracht bleiben. Auch lässt sich von vornherein nicht verkennen, dass jene

in jeder Vorstellung in Wirklichkeit untrennbar verbundenen Momente in den verschiedenen Fällen nicht ganz die gleiche Bedeutung für die Constitution einer Vorstellung besitzen. So hat eine Gehörsvorstellung offenbar in erster Linie intensive und zeitliche Eigenschaften. Die räumlichen treten in ihr zurück: sie können sich zuweilen zu völliger Unbestimmtheit verflüchtigen, und selbst da, wo sie zu bemerken sind, ordnen wir deutlich die Schalleindrücke in dem durch die andern, specifisch räumlichen Sinne bestimmten Raume. Da wir nun aber auch von den zeitlichen Eigenschaften der Gehörsvorstellungen insofern leicht abstrahiren können, als wir bei einem gleichförmig andauernden Klang oder Geräusch dieses Moment der Dauer insoweit außer Betracht lassen, als in ihm nicht gewisse zugleich für den intensiven Charakter der Vorstellungen wesentliche Bedingungen gegeben sind, so bieten diese Vorstellungen eine besonders günstige Gelegenheit, um die Eigenschaften intensiver Vorstellungsverbindungen als solche zu untersuchen. In diesem Sinne einer hier leicht auszuführenden relativen Abstraction von ihren beiden extensiven Eigenschaften können wir daher die Gehörsvorstellungen als ein typisches Beispiel intensiver Vorstellungen in der oben festgestellten Bedeutung dieses Wortes betrachten. Umgekehrt bieten dagegen der Tast- und Gesichtssinn die räumliche Ordnung der Empfindungen unmittelbar als eine so sehr vorwaltende Eigenschaft, dass hier wiederum leicht von der intensiven Seite der Verbindungen sowie in einem gewissen Umfange auch von den zeitlichen Eigenschaften derselben vorläufig abstrahirt werden kann, wodurch dann diese Vorstellungen als die im eminenten Sinne räumlichen zurückbleiben. Nicht ganz so erscheinen dagegen die zeitlichen Vorstellungen bestimmten Sinnesgebieten in bevorzugter Weise zugetheilt. Zwar lässt sich nicht verkennen, dass auch hier gewisse Empfindungen, nämlich die des Gehörssinns und die an die Bewegungen unseres eigenen Körpers gebundenen inneren Tastempfindungen, in besonderem Maße geeignet sind, genau bestimmte und quantitativ vergleichbare Zeitvorstellungen zu erwecken. Dabei sind aber doch zeitliche Dauer und zeitlicher Wechsel so unauflöslich nicht nur an alle andern Sinneseindrücke, sondern auch an den Verlauf aller Bewusstseinsvorgänge gebunden, dass hier von vornherein den zeitlichen Vorstellungen ein allgemeinerer, alle andern Formen zugleich in sich schließender Umfang zugestanden werden muss.

Durch diese Erwägungen wird der folgenden Betrachtung ihr Weg vorgezeichnet. Da sich der synthetische Gesichtspunkt als der allgemeinere und als derjenige herausstellt, der in erster Linie den psychologischen Eigenschaften der Vorstellungen gerecht wird, so werden nach ihm zunächst die Grundformen der intensiven und der ihnen gegenüber-

stehenden **extensiven** Vorstellungen mit ihren beiden Hauptgruppen, den räumlichen und zeitlichen Vorstellungen, zu scheiden sein. Der näheren Untersuchung dieser Grundformen werden wir dann aber jeweils die nach dem analytischen Gesichtspunkt vorzugsweise geeigneten Vorstellungsgebiete zu Grunde legen: den **intensiven** die Gehörsvorstellungen, den **räumlichen** die Tast- und Gesichtsvorstellungen. Dagegen wird die Untersuchung der **zeitlichen** Vorstellungen zwar ebenfalls von denjenigen Sinnesgebieten ausgehen müssen, denen die Eigenschaft, scharf ausgeprägte Zeitvorstellungen zu erwecken, in besonderem Maße zukommt. Wegen der oben berührten allgemeineren Beziehungen der Zeitvorstellungen wird aber dabei doch den zeitlichen Verhältnissen der übrigen Vorstellungsformen sowie der Bedeutung der Zeitvorstellungen für die Gesammtheit der seelischen Vorgänge Rechnung zu tragen sein. Indem wir die gesammte Betrachtung der räumlichen Vorstellungsformen ausschließlich der Psychologie der beiden specifischen Raumsinne, des Tast- und Gesichtssinnes, zuweisen, ergibt sich übriges hieraus von selbst, dass die räumlichen Beziehungen der übrigen Sinnesgebiete, z. B. der Gehörseindrücke, in Verbindung mit jenen, und zwar speciell mit dem allgemeineren derselben, dem Tastsinn, zu behandeln sind, eine Verbindung, die ihre sachliche Rechtfertigung auch darin findet, dass jene Beziehungen stets die Mitwirkung der beiden räumlichen Sinne voraussetzen. Bei den intensiven Vorstellungen aber werden wir uns deshalb auf die typischen Formen der intensiven Gehörsvorstellungen beschränken können, weil hinsichtlich der übrigen intensiven Verbindungen, wie z. B. derjenigen von Temperatur- und Druck-, von Geruchs- und Geschmacksempfindungen die wesentlichen Verhältnisse bereits in der Lehre von den Empfindungen (Cap. X) erwähnt worden sind.

c. Grundformen der Gehörsvorstellungen.

Die allgemeinste Classe der Gehörsvorstellungen bilden die **Geräusche**. Mit diesem Namen bezeichnen wir alle diejenigen auf bestimmte objective Bedingungen bezogenen Schalleindrücke, bei denen zahlreiche unregelmäßig sich durchkreuzende Klangbestandtheile die früher (S. 122 ff.) betrachteten Geräuschempfindungen zu mehr oder minder vorherrschenden Elementen der Vorstellungen machen. Der nahe Zusammenhang, in welchem die Geräusch- mit den Klangempfindungen stehen, bringt es mit sich, dass die ungeheure Mehrzahl der Geräusche noch einzelne Töne oder mindestens gewisse Tonlagen unterscheiden lässt, und dass demnach eine **reine** Geräuschform, d. h. ein Schalleindruck, dem absolut jede Beimischung von Tonelementen in der Empfindung fehlt, jedenfalls nur ein selten vorkommender Grenzfall ist. Anderseits sind freilich die

reinen Klangvorstellungen gegenüber der ungeheuer großen Zahl mannigfacher Geräusche, die an unser Ohr dringen, ebenfalls verhältnissmäßig klein an Zahl. Man kann daher wohl das gemischte, aus Geräusch- und Tonelementen zusammengesetzte Geräusch als die allgemeinste und verbreitetste Form unserer Schallvorstellungen bezeichnen, neben der die reinen Geräusche auf der einen und die reinen Klänge auf der andern Seite die beiden Grenzfälle bilden, zwischen denen sich alle unsere wirklichen Schallvorstellungen bewegen.

Hiermit ist zugleich der Untersuchung dieses Vorstellungsgebiets ein Weg vorgezeichnet, der gewissermaßen in einer Umkehrung desjenigen Weges besteht, den die Lehre von den Schallempfindungen zu nehmen hatte. Musste diese naturgemäß von den reinen Tonempfindungen als den letzten unzerlegbaren Elementen ausgehen, um die in der wirklichen Empfindung vorkommenden Klangempfindungen, als die nächsten Verbindungen einfacher Töne, und dann erst die aus den Interferenzwirkungen unregelmäßig zusammenwirkender Töne resultirenden Geräuschempfindungen zu analysiren, so ist für die Theorie der Vorstellungsbildung die Thatsache maßgebend, dass unsere wirklichen Schallvorstellungen im allgemeinen Geräusche sind, aus denen sich nur unter besonderen Bedingungen Klänge entwickeln. Dabei ist das Geräusch um so mehr der natürliche Ausgangspunkt der Betrachtung, als diese Bedingungen zur Entstehung von Klängen wiederum nur in verschwindendem Maße von selbst in der Natur verwirklicht, sondern in ihrer für das entwickelte menschliche Bewusstsein allerdings vorherrschenden Bedeutung durchaus nur ein Product der Kunst sind, die zuerst, als Gesangskunst, die Geräusche der menschlichen Stimme und Sprache durch Benutzung der hier vorkommenden Grenzfälle verhältnissmäßig deutlicher Klangbildung zu vollkommeneren Klangformen ausgebildet, und dann, als Instrumentalkunst, gewisse, dazu wiederum günstige Bedingungen darbietende Objecte zu Werkzeugen reiner Klangerzeugung umgestaltet hat. Indem die Untersuchung der Gehörsvorstellungen annähernd denselben Weg geht, den die Entwicklung der objectiven Vorstellungen selber zurückgelegt hat, wird sie zugleich am ehesten hoffen dürfen, über die psychologischen Ursachen Rechenschaft zu geben, die jener gewaltigen Entwicklung zu Grunde liegen, die auf diesem Gebiet das menschliche Bewusstsein selber zurückgelegt hat, indem es, von den selbsthervorgebrachten und von zufällig in seiner Umgebung entstehenden Schalleindrücken angeregt, den Klangvorstellungen erst jenes Uebergewicht über das unabsehbare Wirrsal mannigfacher Geräusche verschaffte.

Ergeben sich auf diese Weise Geräusche und Klänge als die beiden zwar durch Uebergangsglieder verbundenen, aber in ihren reinen

Erscheinungen deutlich geschiedenen Grundformen der Gehörsvorstellung, so führt nun weiterhin der genetische Gesichtspunkt, nach dem hier die Geräusche den Klängen voranzugehen haben, auch hinsichtlich der besonderen Aufgabe, die uns gestellt ist, zu einem entsprechenden Ergebnisse. Indem wir nämlich die Gehörsvorstellungen als typische Beispiele intensiver Vorstellungen, unter vorläufiger Abstraction von den Erscheinungen ihres zeitlichen Wechsels, betrachten, ergibt die Vergleichung eben jener beiden Grundformen derselben alsbald, dass eine derartige Abstraction, so sehr sie durch die unmittelbare Beschaffenheit der Klänge nahegelegt wird, bei den Geräuschen unausführbar ist. Den Klang eines musikalischen Instrumentes oder irgend einen consonanten Zusammenklang können wir nach allen seinen Eigenschaften analysiren, ohne auf seine Dauer oder auf seinen Wechsel mit andern Klängen Rücksicht zu nehmen; und es ist einleuchtend, dass die Untersuchung der rein intensiven Eigenschaften der Klangvorstellungen derjenigen der extensiven, wie sie sich in dem Zusammenhang der Melodie zum Theil auf jenen intensiven aufbaut, vorausgehen muss. Ein Geräusch dagegen empfängt durchweg erst durch die in ihm vorhandene Verbindung intensiver und extensiver, zeitlicher Eigenschaften seinen specifischen Charakter. Ein rollendes, rasselndes oder zischendes Geräusch würde, wenn man es auf einen einzigen Zeitmoment reducirt dächte, eben kein rollendes, rasselndes oder zischendes Geräusch mehr sein. Indem in einem solchen Geräusch qualitativ verschiedene Eindrücke in rascher Folge mit einander wechseln, muss dasselbe eine gewisse Zeit dauern, um seinen eigenen Charakter überhaupt entwickeln zu können. Nun gibt es allerdings auch Geräusche, deren Eigenart zum Theil gerade darin besteht, dass sie nur während einer sehr kurzen Zeit andauern, wie z. B. der Knall beim Entkorken einer Flasche, das Geräusch beim Zusammenschlagen zweier Holzstücke u. s. w. In solchen Fällen ist aber hinwiederum gerade die kurze Dauer entscheidend für die Beschaffenheit des Geräusches. Würde dieses in gleicher Weise während einer längeren Zeit dauern, so würde es entweder in ein wesentlich abweichendes Geräusch, oder es würde in einen Klang übergehen.

Auch in dieser Beziehung geben sich demnach die Geräusche gewissermaßen als die primitiveren, eben darum aber, im Hinblick auf die allgemeinen Bedingungen der Vorstellungsbildung, nicht als die einfacheren, sondern als die verwickelteren Formen der Gehörsvorstellung zu erkennen. Als solche sind sie insofern unzerlegbar, als alle ihre Eigenschaften, intensive wie extensive, zur Charakterisirung einer bestimmten Geräuschform zugleich erforderlich sind. Erst nachdem sich die Geräusche zu den Klangformen weitergebildet haben, treten sich intensive und extensive Eigen-

schaften der Vorstellungen als solche gegenüber, die zwar in der Wirklichkeit immer verbunden, jedoch unabhängig von einander variirbar sind, eben deshalb aber auch bis zu einem gewissen Grade unabhängig von einander betrachtet werden können. Demnach ist dann aber auch die exactere Analyse der intensiven Vorstellungsverbindungen selbstverständlich durchaus auf die Klangformen angewiesen, zu der die folgende kurze Betrachtung der Geräuschformen nur in dem Sinne eine Vorbereitung bilden soll, als dieselbe für die Würdigung der Bedingungen erforderlich ist, die der Entwicklung mannigfacher Klangformen und damit der vollkommeneren Gestaltungen intensiver Vorstellungsgebilde überhaupt zu Grunde liegen.

2. Geräuschformen.

a. Allgemeine Bedingungen der Geräuschbildung.

Da die Schallbewegungen, aus deren Wirkung auf das Ohr die Gehörsvorstellungen entspringen, im allgemeinen aus den mannigfachsten Verbindungen einfacher Bewegungsimpulse hervorgehen, die nur in gewissen Grenzfällen regelmäßige Beziehungen zu einander darbieten, so sind die Geräusche die ursprünglichen Formen unserer Gehörsvorstellungen. Die mannigfaltigen Unterschiede der Geräusche bilden das Material, aus welchem der Gehörssinn das ihm adäquate Bild der Außenwelt aufbaut. Denn so irregulär die Bewegungsform sein mag, die dem einzelnen Geräusch zu Grunde liegt, so unwandelbar sind an bestimmte Vorgänge in unserer Umgebung bestimmte Schallbewegungen und ihnen entsprechende Vorstellungen gebunden, die wir demnach in mehr oder minder eindeutiger Weise jenen Vorgängen zuordnen. Wie der Gesichtssinn die Außenwelt zunächst als eine Mannigfaltigkeit von Gegenständen erfasst, um dann erst in zweiter Linie auch die Veränderungen derselben zu einheitlichen Vorstellungen zu verknüpfen, so bieten sich umgekehrt dem Gehörssinn in den Geräuschen ausschließlich gewisse Vorgänge der Außenwelt, die dann immer erst secundär und nie ohne die Verbindung mit Vorstellungen der räumlichen Sinne auf Gegenstände bezogen werden. Dabei macht sich nun aber die in der Regel complexe Beschaffenheit der mit bestimmten Naturvorgängen verbundenen Schallbewegungen nicht bloß darin geltend, dass wir meist sofort die Geräuschvorstellung als ein zusammengesetztes, aus Ton- und Geräuschelementen der früher (S. 129) beschriebenen Art bestehendes Gebilde erkennen, sondern auch darin, dass eine bestimmte Schallbewegung und demnach auch die ihr zugeordnete Vorstellung innerhalb einer gewissen, oft ziemlich ansehnlichen Breite variiren kann, ohne die Beziehung auf einen bestimmten Vorgang wesentlich zu ändern. Dieses Verhältniss findet darin seinen Ausdruck, dass sich die

Wörter, die uns die Sprache für die Bezeichnung der Geräusche zur Verfügung stellt, ganz und gar auf die Unterscheidung gewisser Hauptformen derselben beschränken, während doch thatsächlich jede dieser Formen eine oft unabsehbar große Zahl einzelner Modificationen umfasst.

Ein so unvollständiges Bild aber auch demnach diese Benennungen der Geräusche von den Eigenschaften der wirklichen Geräuschvorstellungen geben mögen, so sind sie doch für die allgemeine Beschaffenheit dieser Classe von Vorstellungen charakteristisch. Wenn wir nämlich von den an sich indifferenten Ausdrücken, wie stark, schwach, laut, leise u. dergl. absehen, die sich bloß auf die Stärke des Empfindungsinhaltes beziehen, so zerfallen alle diesem Gebiete eigenen Bezeichnungen in *zwei* Gruppen. Davon deutet die erste, an sich unbestimmtere, den *Klangcharakter* der Geräusche an: so in Ausdrücken wie voll, leer, dumpf, hell, wo sich die beiden ersten überhaupt nur auf das Vorhandensein oder den Mangel des Klangcharakters, die beiden letzteren auf die ungefähre Tonlage beziehen. Die zweite Gruppe enthält die mannigfachen Ausdrücke, mittelst deren wir das *Geräusch selbst* und besonders die ihm zukommenden *zeitlichen* Eigenschaften schildern. Hierher gehören also Wörter wie knallen, pfeifen, rollen, zischen, sausen, brüllen u. s. w., kurz alle jene unmittelbaren Onomatopöetica, die ein Geräusch dadurch bezeichnen, dass sie mittelst der Sprachorgane ein ähnliches Geräusch nachbilden. Beide Classenbezeichnungen, so unbestimmt sie sind, weisen immerhin deutlich auf die zwei Eigenschaften hin, die hauptsächlich unsern Geräuschvorstellungen ihren specifischen Charakter verleihen: auf einzelne in dem Geräusch enthaltene, dessen Tonlage bestimmende Klänge, und auf die den zeitlichen Ablauf des Geräusches kennzeichnenden Schwebungen und Tonstöße, die, wie sie an sich elementare Bedingungen der Geräuschbildung sind, so sich in den meisten Geräuschen in zusammengesetzter Weise verbinden. Von diesen beiden Momenten kommt das erste, die Beschaffenheit der Klangbestandtheile, hauptsächlich und nicht selten ausschließlich bei den *kurz dauernden* Geräuschen zur Geltung. Das zweite, das Zusammenwirken und der zeitliche Verlauf der Schwebungsphänomene, tritt neben dem ersteren bei den *Dauergeräuschen* als das maßgebende hervor.

Um, von diesen der unmittelbaren Wahrnehmung zugänglichen Thatsachen ausgehend, tiefer in die Constitution der Geräuschvorstellungen einzudringen, fehlt es uns aber für die Gesammtheit der in der Natur entstehenden Geräuschformen noch durchaus an der unerlässlichen physikalischen Vorbedingung, an der Analyse der Schallbewegungen selbst. Nur *eine* Gattung von Geräuschen gibt es, für die aus Anlass des besonderen physiologischen Interesses, das sie in Anspruch nehmen,

wenigstens einigermaßen diese Vorbedingung erfüllt ist: die Sprachlaute. Bei der Vollständigkeit, in der uns in diesen vom menschlichen Sprachorgan hervorgebrachten Schallbewegungen alle möglichen Geräuschformen, von dem nahezu reinen, tonlosen Geräusch an bis zum Uebergang in den Klang, gegeben sind, bilden jedoch die Sprachlaute auch für eine Untersuchung der allgemeinen Formen der Geräuschbildung und der Entstehung von Geräuschvorstellungen besonders günstige Objecte. In diesem Sinne soll im Folgenden der Versuch gemacht werden, die psychologische Structur der Geräuschvorstellungen an der Hand dieser typischen Beispiele zu analysiren, während von allem dem, was die physiologische Seite des Problems der Sprachlaute angeht, hier ebenso abgesehen wird, wie die physiologische oder linguistische Phonetik ihrerseits an der uns hier beschäftigenden psychologischen Frage mit Recht vorübergeht.

b. Die Sprachlaute als typische Formen der Geräuschvorstellungen.

Wenn wir schon bei den mannigfachen Geräuschbildungen, die uns in der äußeren Natur begegnen, neben den eines bestimmten Toncharakters ermangelnden eigentlichen Geräuschelementen in der Regel auch mehr oder minder deutlich ausgeprägte Klänge unterscheiden können, so gewinnt diese allgemeine Zusammensetzung des Geräusches bei den Sprachlauten dadurch einen eigenartigen Charakter, dass hier beide Bestandtheile an verschiedene physiologische Substrate vertheilt sind: die Klangbestandtheile an das Stimmorgan, den Kehlkopf, die specifischen Geräuschbestandtheile an die Organe der Mundhöhle. Wie der Kehlkopf mit seinen durch die Exspirationsluft in Schwingungen versetzten Stimmbändern den künstlichen Zungenpfeifen der musikalischen Instrumente in seinen allgemeinen akustischen Eigenschaften ähnlich ist, so pflegt man wohl auch die Mundhöhle dem Ansatzrohr eines solchen Instrumentes zu vergleichen. Aber wenn diese Analogie schon für das Stimmorgan nur theilweise zutrifft, weil die häutigen Membranen desselben ausgiebiger Spannungs- und Formänderungen fähig sind, welche die Tonhöhe wie den Klangcharakter in weitem Umfang variabel machen, so entfernen sich die Sprachwerkzeuge der Mundhöhle noch in viel höherem Maße nicht bloß durch die ihnen ebenfalls eigene große Veränderlichkeit der Form, sondern mehr noch durch ihre allgemeinen akustischen Eigenschaften von denen der Ansatzröhren unserer Blasinstrumente. Wohl kann auch der Hohlraum der Mundhöhle gewisse im Stimmton enthaltene Klangbestandtheile durch Resonanz verstärken; die überwiegende Bedeutung dieser Theile besteht aber jedenfalls darin, dass der sie durchsetzende Exspirationsstrom Geräusche erzeugt, die sich entweder unmittelbar dem Stimmton beimengen, oder aber unabhängig von demselben, durch das

Vorbeistreichen eines tonlosen Exspirationsstroms hervorgebracht werden. Die erste Form des Zusammenwirkens der beiden Theile des Sprachorgans liegt der Erzeugung der Vocale, die zweite der der eigentlichen oder tonlosen Consonanten zu Grunde. Vielfach bieten jedoch die Organe ein mittleres Verhalten zwischen diesen beiden Fällen: so in einer dem Vocalcharakter sehr genäherten Form bei den sogenannten »Halbvocalen«, und mehr im Uebergang zu den tonlosen Geräuschlauten bei den »tönenden Consonanten«. Schon die Existenz dieser Uebergangslaute zeigt, dass es sich hier nirgends um absolut scharfe Grenzbestimmungen handeln kann, sondern dass die Gesammtheit der Sprachlaute eine continuirliche Reihe von Geräuschformen bildet, an deren einem Ende die Klangbestandtheile, und an deren anderem die Geräuschelemente überwiegend sind.

Diese Verhältnisse lassen sich am deutlichsten übersehen, wenn man die der Luft durch die verschiedenen Sprachlaute mitgetheilten Schwingungen entweder durch ihre Uebertragung auf einen eigens zu diesem Zweck construirten »Sprachzeichner« oder durch die Umsetzung der an einem Phonographen gewonnenen Eindrücke in die gewöhnliche Curvenform objectiv zu ermitteln sucht. Bei den reinen Vocalen werden auf diese Weise Curven gewonnen, die sich den Formen reiner Klangcurven, wie wir sie früher (S. 66, Fig. 166) kennen lernten, noch verhältnissmäßig am meisten nähern. Dennoch zeigt sich schon hier in einer Beziehung ein wesentlicher Unterschied: die Vocalcurven besitzen durchweg den Charakter von Schwebungscurven, d. h. sie zeigen überall jene Intermissionen des Klangs, wie sie entstehen, wenn Töne, die gegen einander verstimmt sind, gleichzeitig erklingen (vgl. Fig. 180, S. 130). Da nun der Stimmton als solcher den reinen Klangcharakter besitzt, so können diese Intermissionen nur in der Mundhöhle entstehen; und dies bestätigt sich auch darin, dass sie je nach der Form, die man der Mundhöhle gibt, bei einem und demselben Stimmton eine verschiedene Beschaffenheit besitzen. Da nun solche abweichende Gestaltungen regelmäßig der Bildung der verschiedenen Vocallaute zu Grunde liegen, so ergibt sich daraus, dass auf der eigenthümlichen, zu der Periodik des Stimmklangs hinzutretenden Periodik jener Intermissionen der specifische Charakter der einzelnen Vocale beruht. Die Fig. 234 zeigt die wesentlichen Verschiedenheiten dieser Periodik an den fünf Vocalen *A*, *O*, *U*, *E*, *I*. Der Stimmklang hatte bei den vier ersten Vocalen die nämliche Tonhöhe (c = 128 Schwingungen); beim *I* lag er um eine Quinte höher (g = 142 Schwingungen). Bei dem *E* und namentlich bei dem *I* werden die Intermissionen als außerordentlich feine Zacken sichtbar, die der Curve des Stimmtons superponirt sind; bei den übrigen Vocalen erscheinen sie

als Unterbrechungen der letzteren durch Schwingungen von abweichenden Perioden. In beiden Fällen scheint aber die Periodik dieser Intermissionen unverändert zu bleiben oder doch nur sehr kleine Verschiebungen zu erleiden, wenn der Stimmton in seiner Höhe wechselt. Zugleich deutet die complicirte Gestalt dieser Schwebungscurven an, dass die Intermissionen selbst wieder mehreren, neben einander hergehenden Perioden folgen. Da jedoch jede solche Periode einer bestimmten Tonhöhe entspricht, so beweist dies, dass sich dem Stimmton bei der Bewegung der Exspirationsluft durch die Mundhöhle mehrere Eigentöne des Mundraumes beimischen.

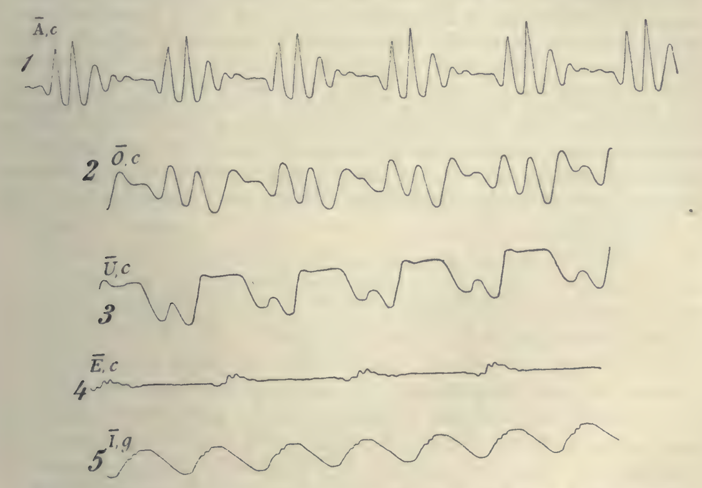


Fig. 234. Schallcurven der fünf Hauptvocale *A*, *O*, *U*, *E*, *I*, nach L. HERMANN.

Diese sind es nun offenbar, die dem Klang seinen Vocalcharakter verleihen, und die daher als die charakteristischen Vocaltöne oder nach einem von L. HERMANN eingeführten zweckmäßigen Ausdruck als die Formanten des Vocals bezeichnet werden können. Diese Formanten stehen im allgemeinen in unharmonischen Verhältnissen sowohl zu einander wie zu dem Grundton des Stimmklangs, und sie können dabei eine so große Stärke erreichen, dass namentlich bei der Sprechstimme der Grundton selbst verhältnissmäßig viel schwächer ist als bei den musikalischen Klängen. Indem auf diese Weise bei den Vocalen der Sprechstimme diejenigen Theile, die der Vocalcurve ihren Charakter als Schwebungscurve verleihen, besonders stark hervortreten, um erst bei der

Singstimme dem Stimmklang den Vorrang zu lassen, ist wiederum bei jedem einzelnen Vocal eine geringere oder größere Annäherung an den Klangcharakter möglich, wobei dann immer dieser letztere zugleich den Vocal als solchen undeutlicher werden lässt.

Ueber die Tonlage der Formanten bei den verschiedenen Vocalen herrscht noch manche Unsicherheit. Natürlich ist das Bild einer Vocalcurve um so vieldeutiger, je größer die Zahl der zusammenwirkenden Formanten ist, und je mehr sich in Folge ihres dissonanten Verhältnisses die Schwebungsphänomene häufen. Auf dem Weg der subjectiven Klanganalyse mit Hülfe von Resonatoren (Fig. 172, S. 83), die auf die einzelnen Formanten des Klangs abgestimmt sind, werden aber voraussichtlich nur solche Formanten aufzufinden sein, die selbst nicht allzu sehr durch Schwebung verdeckt werden, was vorzugsweise dann zutrifft, wenn die Formanten zu den Obertönen des Stimmklangs gehören. Hierdurch erklären sich wahrscheinlich die abweichenden Ergebnisse der verschiedenen Beobachter, welche die folgende Uebersicht erkennen lässt. Die durch subjective Klanganalyse gewonnenen Ergebnisse von Helmholtz weichen, wie man sieht, am meisten ab, während die von Hermann und Pipping, die sich beide objectiver Methoden bedienten, wenigstens hinsichtlich der allgemeinen Tonlage der Formanten meist nahe übereinstimmen[1].

Formanten der Hauptvocale.

	Helmholtz	Hermann	Pipping
A	b^2	e^2—gis^2	gis^2 cis^3
O	b^1	c^2—dis^2	g^1
E	f^1 b^3	d^2—e^2, ais^3—h^3	f^1 fis^3 cis^4
I	f d^4	d^1 cis^4 fis^4	e^4—f^4
U	f	c^1—f^1 d^2—e^2	d^1—f^1 d^3
Ä	d^2 g^3—as^3	c^2—e^2 fis^3—ais^3	g^2 fis^3
Ö	—	f^3—g^3	f^1 g^3
Ü	—	a^3—h^3	d^1 c^4

Erscheinen nach allem dem die Vocale als Klänge, die sich von den eigentlich musikalischen Klängen durch die ungewöhnlich starke Beimengung von Geräuschelementen auszeichnen, aus welchen letzteren sich einzelne Töne von constanter Höhenlage als die den Vocal charakterisirenden Elemente aussondern, so stimmen nun die Consonanten in allen ihren Abstufungen darin überein, dass bei ihnen die durch die Bewegungen bestimmter Mundtheile sich beimengenden Geräuschelemente nicht nur ein zunehmendes Uebergewicht über den Stimmton gewinnen,

---

[1] Helmholtz, Lehre von den Tonempfindungen[4], S. 168 ff. Pipping, Zeitschrift für Biologie, Bd. 27, 1890, S. 77. L. Hermann, Pflügers Archiv, Bd. 45, S. 582. Bd. 47, S. 42 ff. Bd. 58, S. 264. Bd. 61, S. 169.

bis der letztere schließlich bei den »stummen« Consonanten ganz verschwindet, sondern dass auch die einzelnen Töne, die in jene Geräuschelemente als Formanten eingehen, immer mehr gegenüber den Remissionen oder Unterbrechungen des Schalls selbst zurücktreten. Auf diese Weise wird schließlich die Dauer und Schnelligkeit dieser Schallstöße hauptsächlich für den Lautcharakter kennzeichnend. Durch das successive Hervortreten der einzelnen genannten Momente bilden aber die Consonanten eine Reihe typischer Geräuschformen, die sich an ihrem Anfang von dem durch die Vorherrschaft des Klangcharakters ausgezeichneten Vocal nur wenig unterscheiden, um endlich da, wo nur noch die Form der Schallunterbrechungen für den Eindruck maßgebend ist, in das reine Geräusch überzugehen. Die in Fig. 235 dargestellten Curven, die in ähnlicher Weise wie die in Fig. 234 gezeichneten Vocalcurven gewonnen sind, zeigen dies an einer Reihe typischer Beispiele für jede der bekannten Hauptformen consonantischer Geräusche. Wegen der Abhängigkeit von den vorangehenden oder nachfolgenden Vocallauten sind sie meist mit diesen zusammen aufgezeichnet; der das Geräusch tragende Stimmton (zwischen c und c^1 liegend) ist neben diesen Lauten unter jeder Curve angegeben. Die Curve des *M*, von der sich die Formen der übrigen phonischen Dauerlaute (*L*, *N*) nicht wesentlich unterscheiden, zeigt noch ganz den Charakter eines hohen Vocalklangs. Wahrscheinlich ist es nur eine etwas größere Unregelmäßigkeit der dem Stimmton superponirten hochliegenden Formanten, die sie von der Curve des *I* unterscheidet; und ebenso dürften die Eigenthümlichkeiten der einzelnen dieser Halbvocale wieder in der besonderen Art der Unterbrechungen der Formanten ihren Grund haben. Dem gegenüber gewährt der remittirende Halbvocal, das *R*, in seinen verschiedenen, in ihrem physikalischen Charakter übereinstimmenden Formen des *R* linguale und gutturale schon ein wesentlich abweichendes Bild. Einerseits erinnern nämlich die tönenden Perioden der Curven mehr an die Gestalten der tieferen Vocalcurven (*A* oder *O*), ohne dass freilich Andeutungen gleichzeitig vorhandener sehr hoher Formanten ganz fehlen; anderseits bilden die Remissionen des Schalls, bei denen die Curve nur minimale Oscillationen um die Abscissenlinie macht, offenbar diejenigen Bestandtheile des Ganzen, die für den Lautcharakter besonders charakteristisch sind. Daran reihen sich die phonischen und die aphonischen Dauergeräusche, die ersteren durch unser *W*, weiches *S*, engl. *th*, franz. *z*, die letzteren durch scharfes *F*, scharfes *S*, *Sch*, *Ch* u. s. w. repräsentirt, die beide wieder, abgesehen von den zuweilen dem vorangehenden Vocal folgenden Tonpausen, continuirliche Schallcurven zeigen. Unter ihnen lassen die phonischen Dauergeräusche den Stimmton mehr oder minder deutlich unter den in ein

sehr hohes Tongebiet fallenden irregulären Formanten hervortreten, wogegen bei den letzteren nur noch diese als ungemein rasche Oscillationen um die Abscissenlinie vorhanden sind. Schwächer angedeutet, aber doch

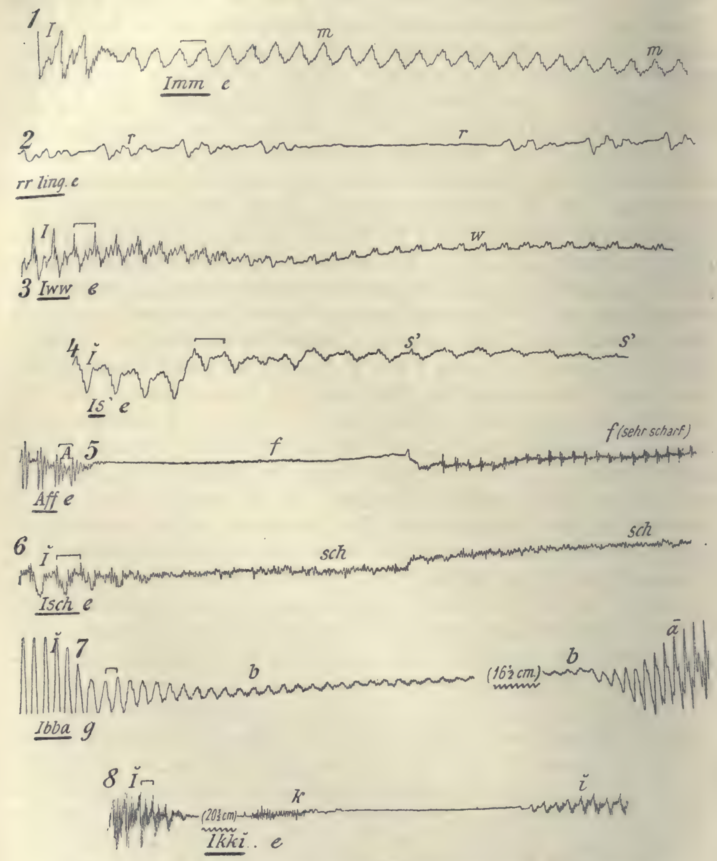


Fig. 235. Schallcurven consonantischer Geräuschlaute, nach L. Hermann.

meist noch deutlich erkennbar ist dann wieder der Stimmlaut bei den phonischen Explosivlauten (den s. g. Mediae *B*, *D*, *G*). Endlich als bloße Exspirationsgeräusche ohne jeden Stimmklang treten uns die aphonischen

Explosivlaute (*P*, *K*, *T*) entgegen: sie bilden, genau wie die aphonischen Dauergeräusche, irreguläre sehr schnelle Schwingungen um die Abscissenlinie, nur von kürzerer Dauer und, wo sie, wie in der Sprache, in Zusammenhang mit andern Lauten treten, in der Regel durch völlig schallfreie Pausen von diesen geschieden.

Natürlich werden nun auch die unregelmäßigsten Wellenformen dieser Art principiell immer in irgend welche Formanten, d. h. in Töne von bestimmter Höhe, zerlegbar sein; und meist lässt sich auch die allgemeine Tonlage dieser Formanten subjectiv schon mit dem Gehör erkennen: so z. B. bei dem *R* als eine relativ tiefere, bei dem *F*, *S*, *Sch* u. s. w. als eine sehr hohe. Aber theils diese hohe Lage, die viele Formanten wahrscheinlich in den objectiven Curven verschwinden lässt, theils das Zusammenwirken derselben macht diese Aufgabe zu einer sehr schwierigen, so dass erst Anfänge zu ihrer Lösung gemacht sind[1]. Auch wird die Frage nach der specifischen Natur der constituirenden Töne hier naturgemäß in dem Maße von relativ geringerer Bedeutung, als bei den eigentlichen Geräuschformen überhaupt solche Momente wie Dauer des Schalls, Art und Geschwindigkeit der Intermissionen eine überwiegende Rolle spielen, wogegen die Höhenlage der herauszuhörenden Tonelemente oft in erheblichem Grade variiren kann, ohne damit den allgemeinen Charakter des Geräusches zu ändern.

So sind denn auch die in den obigen Curven dargestellten Beispiele keine feststehenden Formen der Schallbewegung, die sich bei jedem einzelnen Sprachlaut immer wieder in genau der gleichen Weise wiederholen, sondern sie variiren im einzelnen mannigfach nach den nationalen und individuellen Nuancen der Aussprache. Auch sind sie insofern keine absolut getreuen Nachbildungen der jedesmal stattfindenden objectiven Schallbewegungen, als je nach der Einstellung der benutzten Apparate einzelne Elemente der Curven mehr oder weniger hervortreten und andere ganz unmerklich werden können; und diese einzelnen Variationen haben einen um so weiteren Spielraum, je mehr die Klangelemente gegenüber den Geräuschelementen zurücktreten. Die Vocale besitzen daher im ganzen einen constanteren Charakter als die Consonanten, und unter diesen sind wieder die phonischen relativ constanter als die aphonischen[2]. Aber typische Formen sind alle diese Beispiele immerhin in dem Sinne, dass in ihnen die hauptsächlichsten objectiven Eigenthümlichkeiten

[1] WENDELER, Zeitschrift für Biologie, Bd. 23, 1887, S. 303. L. HERMANN, PFLÜGERS Archiv, Bd. 58, 1894, S. 255. Bd. 83, 1900, S. 1 ff.

[2] Man vergleiche die hinsichtlich der Breite dieser Schwankungen sehr instructiven Tafeln von HERMANN, PFLÜGERS Archiv, Bd. 61, Taf. V u. VI (Vocalcurven), und Bd. 83, Taf. I—IV (Consonanten).

der Sprachlaute und, da die letzteren Repräsentanten der wesentlichen Entwicklungsformen der Geräusche überhaupt sind, auch als typische Formen dieser gelten können. Nach den Beziehungen, die uns bereits die Analyse der Empfindungen zwischen ihnen und den objectiven Schallbewegungen kennen lehrte, und die besonders in den Phänomenen der natürlichen »Klanganalyse« einerseits und der »Tonverschmelzung« anderseits hervortreten, werden wir aber auch hier, im Gebiet der Vorstellungsbildung, von vornherein gesetzmäßige Beziehungen zwischen den in diesem Falle nur viel verwickelter gestalteten objectiven Schallbewegungen und den entsprechenden Vorstellungen voraussetzen dürfen. In der That bestätigt das die unmittelbare Auffassung aller Geräuschlaute vor allem in dem Sinne, dass auch bei ihnen jener einheitliche Charakter, den in diesen Fällen stets auch die objective Schallbewegung erkennen lässt, in einem entsprechenden einheitlichen Charakter der zugehörigen Geräuschvorstellung seinen Ausdruck findet, und dass daneben die Zusammensetzung jener Bewegung aus einer großen Zahl von Partialbewegungen in der nicht minder deutlich unterscheidbaren Vielheit der Bestandtheile der Vorstellung sich ausprägt. Auch die Geräuschvorstellungen sind demnach Verschmelzungsproducte, in denen einzelne dominirende Elemente von andern mehr zurücktretenden, die nichts desto weniger den Charakter des Ganzen bestimmen, begleitet werden. Gleichen auf diese Weise die Geräusche nach der allgemeinen Natur der bei ihnen wirksamen elementaren Associationsprocesse durchaus den Einzelklängen, so treten uns aber hier diese Processe in verwickelteren Formen entgegen; und hinsichtlich der Constitution dieser Formen bilden die Geräusche eine Reihe, die in ihren einfacheren Anfängen dem Klang noch sehr nahe steht, um sich dann immer weiter von ihm zu entfernen.

c. Eintheilung der Geräusche und psychologischer Charakter ihrer Hauptformen.

Ueberblickt man die in Fig. 234 und 235 dargestellten typischen Grundformen der Geräusche, so zerfallen dieselben, abgesehen von den unverkennbaren Uebergangsbildungen, die die ganze Reihe zu einer nahezu continuirlichen machen, deutlich in drei Gruppen. Die erste dieser Gruppen (sie umfasst bei den Sprachlauten die Vocale und Halbvocale) erscheint durchweg aus regelmäßigen Schwingungsbewegungen von verschiedenen Perioden zusammengesetzt. Wie bei den eigentlichen Klängen zeigt eine dieser Perioden stärkere Amplituden als die übrigen: der Schall enthält also noch einen dominirenden Ton (bei den Sprachlauten den Stimmton). Aber schon hier stehen die übrigen Perioden, im Unterschied von den Obertönen der eigentlichen Klänge, nicht in einem regelmäßigen,

mit der Höhe wechselnden Schwingungsverhältniss zum Hauptton, sondern sie halten im allgemeinen irrationale, dafür aber bei wechselndem Hauptton wesentlich constante Perioden ein: die »Formanten« der Vocale und der sonstigen vocalartigen Geräusche. Außerdem ist häufig der Hauptton im Vergleich mit diesen Nebentönen nur von wenig größerer Stärke (so z. B. bei den Vocalen der Sprechstimme), wiederum wesentlich abweichend von den eigentlichen Klängen. Nennen wir diese erste Gruppe, um ihre nahe Verwandtschaft mit den Klängen anzudeuten, die Klanggeräusche, so sind dieselben demnach als Verschmelzungsproducte zu definiren, die einen dominirenden Ton von variabler Höhe und von zuweilen verhältnissmäßig nicht sehr überwiegender Stärke, daneben aber mit ihm verschmolzene modificirende Töne von constanter Höhe enthalten, unter denen einzelne wieder mehr als andere hervortreten.

Die zweite Gruppe umfasst solche Geräusche, in denen zwar ebenfalls noch ein variabler Grundton (bei den Sprachlauten ein Stimmton) vorkommt, der aber gegenüber den andern Schallbestandtheilen zurücktritt, während zugleich durch die Interferenzen dieses Haupttons und der constanten Nebentöne starke Schwebungen entstehen, die nun hauptsächlich dem Geräusch seinen Charakter verleihen. So entstehen die verschiedenen Formen der intermittirenden Dauergeräusche, die wieder eine continuirliche Stufenfolge bilden von den durch die größere Stärke des variabeln Haupttons noch den Klanggeräuschen verwandten *R*-Lauten an, denen die verschiedenen Arten rollender und rasselnder Geräusche in der Natur entsprechen, durch die weicheren Zischlaute mit schwächerem Hauptton und raschen Intermissionen, bis zu den scharfen Zischlauten mit ganz zurücktretendem Hauptton und sehr hohen, in überaus schnellen Schwebungen begriffenen Nebentönen. Alle diese Dauergeräusche können demnach definirt werden als Verschmelzungsproducte, die je nach ihrer Form einen bald mehr oder minder deutlich vernehmbaren bald völlig verschwindenden variabeln Hauptton und in starken Schwebungen begriffene tiefere oder höhere Nebentöne enthalten. Dominirende Bestandtheile dieser Dauergeräusche sind daher diese schwebenden Töne: bei den *R*-Geräuschen der variable schwebende Hauptton, bei den zischenden Geräuschen die relativ constanten schwebenden Nebentöne. Hieraus erklärt sich die bekannte Erfahrung, dass rollende, rasselnde Geräusche u. dgl. in sehr beträchtlichem Umfang, zischende aber sehr wenig in ihrer Tonhöhe variiren können.

Eine dritte und letzte Gruppe umfasst endlich diejenigen Geräusche, die durch eine plötzliche, sehr kurz dauernde Lufterschütterung erzeugt werden. Indem es bei einer solchen zur Ausbildung einer regelmäßigen

Periodik überhaupt nicht kommen kann, setzen sich diese Geräusche aus einer raschen Folge sehr unregelmäßiger Oscillationen zusammen, die höchstens eine gewisse Tonlage erkennen lassen, aber des eigentlichen Toncharakters entbehren. Diese Momentangeräusche (in der Sprache die Explosivlaute) können sich aber leicht mit tönenden Geräuschen, namentlich mit Klanggeräuschen verbinden. Dies geschieht nicht bloß in der Sprache, wo sie entweder selbst schon von einem Stimmton begleitet sind (die phonischen Explosivlaute), oder mit einem eigentlichen Klang wechseln (die aphonischen); sondern dasselbe geschieht auch bei ihrer Entstehung in der äußeren Natur: so in vielen Fällen bei jenen Geräuschen, die wir als knallende, stoßende, puffende u. dgl. bezeichnen. Von diesen Uebergängen abgesehen, bilden aber die Momentangeräusche selbst in Folge ihrer Zusammensetzung aus einer Menge stark interferirender und dabei nur sehr kurz dauernder Tonbewegungen wiederum relativ einfache Vorstellungen, die wir nur noch nach dem Gesammteffect der sich durchkreuzenden Oscillationen unterscheiden.

Die Untersuchung der Geräuschformen ist gegenüber der Erforschung der Klänge und Klangverbindungen begreiflicher Weise im Rückstand geblieben, da die Geräusche nicht nur ganz außerhalb der Sphäre musikalischer Interessen liegen, sondern da es sich auch hier um Erscheinungen handelt, die in physikalischer, physiologischer und psychologischer Hinsicht einer Analyse viel schwerer zugänglich sind. So hat denn überhaupt das, worauf es der Psychologie der Schallvorstellungen zunächst ankommt, die Geräuschform als solche, gewissermaßen nur nebenbei Beachtung gefunden, insofern sich nämlich die Physiologie der Sprachlaute genöthigt sah, den Entstehungsbedingungen der unter diesen sich darbietenden specifischen Geräuschformen nachzugehen. Auch hier blieb freilich zumeist die Betrachtung bei der Analyse des physiologischen Mechanismus ihrer Bildung stehen, ohne der für die Psychologie der Geräuschvorstellungen maßgebenden akustischen Seite derselben näher zu treten. Nur die Vocale bildeten wegen ihrer nahen Verwandtschaft mit den musikalischen Klängen eine Ausnahme. Nachdem schon Willis und besonders Donders[1] auf die Bedeutung der Resonanz der Mundhöhle für die charakteristischen Unterschiede der Vocale hingewiesen hatten, suchte zuerst Helmholtz eine exacte Feststellung der Formanten auf subjectivem Wege zu gewinnen, indem er einerseits die natürlichen Vocale mittelst der Resonatoren (Fig. 172, S. 83) analysirte, anderseits aber durch die Combination von Stimmgabelklängen, die den gefundenen Partialtönen entsprachen, künstlich auf synthetischem Wege den Vocalen ähnliche Klangfarben erzeugte[2]. Helmholtz fand auf diese Weise für jeden Vocal charakteristische Töne von constanter Lage. Indem er dabei an der Analogie des Mundhöhlenraumes mit einer Ansatzröhre festhielt, betrachtete er auch die Vocale als reine Klänge, von deren Partialtönen dann jener Resonanzraum der Mundhöhle einzelne

---

[1] Donders, Archiv für die holländischen Beiträge zur Natur- und Heilkunde. 1857.
[2] Helmholtz, Lehre von den Tonempfindungen[4], S. 168 ff.

verstärke. Da nun aber der Vocalcharakter bei wechselnder Höhe des Stimmtones innerhalb ziemlich weiter Grenzen unverändert bleibt, so lag darin ein gewisser Widerspruch mit der festen Lage der Formanten, die doch vielmehr, wenn sie stets zu den Obertönen des Stimmklangs gehörten, mit der Tonhöhe des letzteren wechseln müssten. In der That glaubten F. AUERBACH[1] und GRASSMANN[2] eine solche variable Lage der Formanten annehmen zu sollen, wogegen HENSEN und PIPPING[3] sowie L. HERMANN[4] auf Grund der von ihnen nach verschiedenen Methoden gewonnenen objectiven Darstellungen der Vocalcurven wieder entschieden für eine feste oder doch nur innerhalb sehr enger Grenzen schwankende Lage der Formanten eintraten und zugleich, wie auch schon AUERBACH, eine zumeist erheblich größer Zahl solcher charakteristischer Töne unterschieden. Dabei besteht freilich in einem Punkte ein noch nicht ausgeglichener Widerspruch zwischen diesen Forschern. Während HENSEN und PIPPING an der HELMHOLTZ'schen Auffassung festhalten, dass die Mundhöhle als Resonanzraum nur solche Töne verstärke, die schon in dem Stimmklang als Obertöne enthalten sind, schreibt HERMANN der Mundhöhle eine selbständige Tonbildung zu, darauf beruhend, dass die Theile derselben durch den Exspirationsstrom angeblasen werden. Betrachten demnach die ersteren die Vocale im wesentlichen noch als reine Klangformen, so sieht HERMANN in ihnen bereits Uebergangsbildungen zwischen Klang und Geräusch. Der Versuch, zwischen diesen Auffassungen durch die Methode der Auslöschung einzelner Theiltöne des Vocals mittelst der Interferenzapparate (Fig. 177, S. 103) zu entscheiden, hat bis jetzt keinen entscheidenden Erfolg gehabt[5]. Die Möglichkeit solch widerstreitender Auffassungen erklärt sich natürlich daraus, dass die objective Vocalcurve wegen ihrer complicirten Beschaffenheit kein vollkommen eindeutiges Bild gibt. Die Möglichkeit aber, die Obertonhypothese mit der Annahme einer annähernd festen Lage der Formanten zu verbinden, ist dadurch gegeben, dass diese Formanten durchweg sehr hohe Töne sind, und die höheren Glieder der Obertonreihe ja immer enger zusammenrücken, so dass wenigstens eine annähernde Constanz dieser charakteristischen Töne immerhin möglich bleibt. Aus dem gleichen Grunde ist nun aber auch für die thatsächliche Auffassung der Erscheinungen dieser principielle Unterschied der Standpunkte von geringerem Belang, als es auf den ersten Blick scheint. In beiden Fällen stehen die Formanten unter einander in keinem einfachen Schwingungsverhältniss, sondern sie bilden im allgemeinen dissonirende Klangbestandtheile, so dass sich von beiden Standpunkten aus ihre Bezeichnung als »Klanggeräusche« rechtfertigen lässt, wenngleich dieselbe allerdings durch die HERMANN'sche Auffassung am unmittelbarsten nahe gelegt wird. Auch bleibt auf alle Fälle der wichtige Unterschied von den Klängen bestehen, dass es wesentlich constante, nicht variable Elemente sind, die dem Vocal seinen eigenthümlichen Charakter verleihen. Zugleich ist dies der Punkt, in welchem wiederum diese Klanggeräusche

---

[1] AUERBACH, WIEDEMANNS Annalen, Ergänzungsbd. 8, 1877, S. 48.

[2] H. GRASSMANN, ebend. Bd. 23, 1877, S. 606.

[3] HENSEN, Zeitschrift für Biologie, Bd. 23, S. 291. PIPPING, ebend. Bd. 25, S. 289. Bd. 27, S. 1. Bd. 31, S. 524.

[4] HERMANN, PFLÜGERS Archiv, Bd. 45, S. 582. Bd. 47, S. 42, 347. Bd. 53, S. 1. Bd. 58, S. 264. Bd. 61, S. 169.

[5] GRÜTZNER und SAUBERSCHWARZ, PFLÜGERS Archiv, Bd. 61, S. 1 ff.

mit den verschiedenen Formen eigentlicher Geräusche durchaus übereinstimmen. Bei diesen, bei denen die Mittel der subjectiven Klanganalyse fast völlig versagen, zeigen die objectiven Darstellungen der Schallbewegungen, besonders in der beim Uebergang von den tönenden zu den tonlosen Geräuschen allmählich verschwindenden Periodicität eines die Schwebungscurve begleitenden Grundtones, auf das deutlichste die stetigen Uebergänge zwischen diesen Geräuschformen, sowie den vollständigen Parallelismus zwischen der physikalischen und der psychologischen Seite der Erscheinungen. Zu den aus HERMANNS Curventafeln oben mitgetheilten Beispielen sei hier nur noch bemerkt, dass dieselben von HERMANN aus den Eindrücken in der Rolle des Phonographen dadurch hergestellt wurden, dass bei stark verlangsamter Rückwärtsbewegung der Rolle ein über die Eindrücke hinlaufendes, mit einem Hebelwerk versehenes kleines Glasknöpfchen seine Bewegungen in vergrößertem Maßstabe auf ein Spiegelchen übertrug, dessen Bewegungen dann auf einer mit lichtempfindlichem Papier überzogenen Kymographentrommel photographisch abgebildet wurden. Bei den Vocalversuchen HERMANNS, von denen Fig. 234 einige Beispiele gibt, war die so erzielte Vergrößerung der Ordinaten das 743fache, bei den Consonanten (Fig. 235) sogar das 4179fache der wirklichen Größe, was bei der Vergleichung der Curven zu beachten ist[1].

3. Klangformen.

a. Constante und variable Klangverwandtschaft.

Unsere Auffassung der mannigfachen Geräuschformen, die durch äußere Schallerregungen oder durch die Function unserer eigenen Sprachorgane erzeugt werden, ist überall von den Uebereinstimmungen und Unterschieden bestimmter, in die gesammte Schallbewegung eingehender Partialschwingungen abhängig, denen subjectiv bestimmte Elemente der Geräuschvorstellung entsprechen. Das gemeinsame Merkmal aller Geräuschvorstellungen aber ist es, dass jene übereinstimmenden Elemente, die einer Geräuschform ihr eigenartiges Gepräge geben, constant sind oder sich doch nur sehr wenig um gewisse mittlere Lagen bewegen. Insbesondere bei denjenigen Geräuschen, in deren Constitution Einzelklänge oder Tonlagen eingehen, wird daher unsere Auffassung der Eindrücke durchaus durch die constante Klangverwandtschaft bestimmt, die jedesmal eine Fülle einzelner Geräuschvorstellungen, deren sonstige Elemente mannigfach wechseln können, zu einer typischen Geräuschform vereinigt. Dabei können diese einer Geräuschform gemeinsamen Klangbestandtheile entweder noch den Charakter relativ dauernder Klänge besitzen oder durch starke Interferenzen selbst schon zu Geräuschelementen verschmelzen. Die Geräusche in der uns umgebenden Natur, die Stimmen

---

[1] L. HERMANN, ebend. Bd. 58, 1894, S. 255. Bd. 83, 1900, S. 1.

der Thiere, die Laute der menschlichen Sprache, diese im einzelnen unabsehbare Fülle von Schalleindrücken ordnen wir so nach jenen einer größeren Gruppe gemeinsamen constanten Bestandtheilen in eine verhältnissmäßig kleine Anzahl von Geräuschformen, für deren Bezeichnung wir, wo sie nicht unmittelbar nach den erzeugenden Objecten selbst vorgenommen wird, die Nacherzeugung durch das menschliche Sprachorgan anwenden, sei es unmittelbar, wie bei den Sprachlauten selbst, sei es mittelbar in der Form der onomatopoetischen Bezeichnung, wie bei den meisten Geräuschbildungen der äußeren Natur.

Unter allen diesen Quellen der Geräuschbildung gibt es nun eine, die in besonderem Maße die Fähigkeit zu relativ reinen Klangbildungen in sich trägt: sie besteht in den vom menschlichen Sprachorgan hervorgebrachten Vocalklängen, die zugleich in dem Maße ihre in der Mundhöhle entstehenden Geräuschelemente zurück- und die in dem Stimmorgan erzeugten Tonelemente stärker hervortreten lassen, als die Sprechstimme in die Gesangsstimme übergeht. Mit diesem Uebergang wird dann aber eine zweite, von jener constanten der Geräusche wesentlich abweichende Art der Klangverwandtschaft die vorherrschende, die wir nach den sie auszeichnenden Eigenschaften die variable nennen können. Sie besteht darin, dass wir verschiedene Klänge dann verwandt nennen, wenn sie gewisse Theiltöne, die der harmonischen Tonreihe mit ihren Schwingungsverhältnissen 1 : 2 : 3 : 4 : 5 . . . . angehören, in wahrnehmbarer Weise mit einander gemein haben. Diese Klangverwandtschaft ist eine variable, weil sie nicht an bestimmte feste, beim Wechsel des Stimmtons constante Formanten gebunden ist, sondern weil diese Formanten dem Stimmton relativ nahe liegende Obertöne sind und daher mit dem Stimmton selbst nach dem durch die Obertonreihe bestimmten Gesetze wechseln. Die variable Klangverwandtschaft ist demnach auch die specifisch musikalische. Von der menschlichen Stimme ist sie auf die musikalischen Instrumente übergegangen, die, nach dem Vorbild, welches das menschliche Stimmorgan bei der Entwicklung von der Sprache zum Gesang gegeben, aus der künstlichen Umwandlung äußerer Mittel der Geräuschbildung zu klangerzeugenden Werkzeugen entstanden sind. Wie der menschlichen Stimme, so haften übrigens den Klängen unserer musikalischen Instrumente die Spuren dieses Ursprungs auch darin noch an, dass ihnen neben der variabeln das Moment der constanten Klangverwandtschaft keineswegs fehlt. Denn hier wird man dieser im weiteren Sinne alle diejenigen Bedingungen zuzählen können, auf denen die specifischen Klangfärbungen der Instrumente beruhen, insofern auch diese constante Eigenschaften sind, wenngleich sie nicht durchweg auf bestimmte Formanten von gleich bleibender Tonlage

zurückgeführt werden können. So erscheinen uns musikalische Klänge verwandt, wenn bestimmte Ordnungszahlen der Partialtöne fehlen oder im Gegentheil stark vertreten sind. Hier sind in Wahrheit die Partialtöne veränderlich; aber da bei einer bestimmten Klangform stets die gleichen Eigenschaften derselben wiederkehren, so wird dieser Fall dem Gebiet der constanten Klangverwandtschaft zuzurechnen sein, wie wir denn ja auch nach solchen Eigenschaften die Klangformen, analog wie die Geräuschformen, in gewisse relativ feste Gruppen ordnen. Ferner können gewisse Klänge in dem zeitlichen Verlauf ihrer Partialtöne, in dem An- und Abschwellen derselben einander gleichen. Die Klangähnlichkeit musikalischer Instrumente beruht wohl zumeist auf einer Mischung dieser Einflüsse, zu denen dann zuweilen auch noch constante Obertöne, meist von bedeutender Tonhöhe, hinzutreten, die aus gleichförmigen Bedingungen der Klangerzeugung entspringen, und die sich, da sie stark interferiren, als wirkliche Geräuschelemente dem Klang beimengen.

Im Gegensatz hierzu ist nun die variable Klangverwandtschaft nicht von solchen mit jedem Einzelklang in unveränderlicher Weise verbundenen Tonelementen und ihren constanten Beziehungen, sondern in erster Linie von den Tonhöhen der Einzelklänge selbst abhängig. Demnach sind natürlich variable und constante Klangverwandtschaft nicht ganz unabhängig von einander. Namentlich der Umstand, ob ein Klang dem starken Mitklingen der Partialtöne oder dem Mangel derselben, ob er den geradzahligen oder ungeradzahligen Partialtönen seine charakteristische Färbung verdankt, beeinflusst, da er ja eben zugleich zu dem Höhenverhältniss der Töne gehört, wesentlich auch die variable Klangverwandtschaft. Doch müssen die hier sich ergebenden Beziehungen, die in das Gebiet der Lehre von der Instrumentation und der specielleren musikalischen Akustik hinüberführen, an dieser Stelle unerörtert bleiben. Es mag daher genügen, der folgenden Betrachtung jenen allgemeinsten Fall zu Grunde zu legen, der für die Feststellung der variabeln Klangverwandtschaft, wie sie sich in den Gesetzen der musikalischen Harmonie ausgeprägt hat, vorzugsweise bestimmend ist. Dies ist jene Verwandtschaftsbeziehung, welche die Klänge darbieten, wenn in ihnen der Grundton von höheren Obertönen begleitet wird, deren Schwingungszahlen das 2-, 3-, 4fache u. s. w. der Schwingungszahl des Grundtons betragen, und deren Intensität rasch abnimmt, so dass sie im allgemeinen höchstens bis zum zehnten Partialton zu berücksichtigen sind. Ein Klang von der hier vorausgesetzten Beschaffenheit entspricht nach früheren Erörterungen dem allgemeinsten Schwingungsgesetz tönender Körper, indem diese in der Regel, während sie als ganze schwingen, zugleich in ihren einzelnen Theilen Schwingungen ausführen, die sich wie die Reihe der einfachen

ganzen Zahlen verhalten[1]. Wo vermöge besonderer Bedingungen der Klangerzeugung einzelne Glieder dieser Reihe ausfallen, da werden doch in größeren harmonischen Zusammenklängen solche Lücken regelmäßig ergänzt. Einen in der angegebenen Weise von gerad- und ungeradzahligen Obertönen mit rasch abnehmender Intensität begleiteten Klang können wir darum einen vollständigen Klang nennen. In der That ist ein solcher, da sein eigener, constanter Charakter unverändert bleibt, am besten geeignet, die Eigenschaften dieser von der Tonhöhe abhängigen variabeln Klangverwandtschaft zu untersuchen. Nun lassen sich aber zwei Fälle dieser variabeln oder specifisch musikalischen Klangverwandtschaft unterscheiden. Entweder sind verschiedene Klänge direct verwandt, indem sie gewisse Bestandtheile mit einander gemein haben; oder sie sind indirect verwandt, insofern sie selbst Bestandtheile eines und desselben Grundklanges ausmachen. Natürlich können beide Formen bei den nämlichen Klängen gleichzeitig vorkommen. So sind z. B. die das Quintintervall bildenden Töne *c* und *g* direct verwandt, da mehrere ihrer Obertöne, wie g^1, g^2 .... zusammenfallen; indirect, weil sie beide in dem um eine Octave tieferen Klang *C* als Obertöne vorkommen. Aber die verschiedenen Bedingungen bei der successiven und der simultanen Auffassung der Klänge bringen es mit sich, dass die directe Klangverwandtschaft vor allem bei der Aufeinanderfolge der Einzelklänge hervortritt, während die indirecte zunächst für die Zusammenklänge bestimmend ist.

Zur Untersuchung der im Folgenden zu erörternden Verhältnisse der directen und der indirecten Klangverwandtschaft sowie der auf ihnen sich aufbauenden Eigenschaften der Accorde und der Klangfolgen bedarf man instrumenteller Hülfsmittel, bei denen die Tonquellen einerseits eine feste Stimmung besitzen, anderseits aber rein, d. h. nach den Verhältnissen der genauen physikalischen Intervalle abgestimmt sind. Eine solche reine Stimmung besitzen bekanntlich unsere gewöhnlichen Instrumente mit fester Stimmung, wie das Klavier, die Orgel, das Harmonium, nicht, sondern es ist bei ihnen, um die Zahl der innerhalb der Octave bei verschiedenen Tonarten zu verwendenden Töne auf das nothwendigste Maß zu beschränken, die von den Musikern sogenannte »temperirte Stimmung« angewandt. Bei psychologischen Versuchen muss man sich darum entweder eines Harmoniums mit »reiner Stimmung« bedienen, welches nach dem System von POOLE an Stelle des gewöhnlichen 12-stufigen ein 53-stufiges temperirtes System innerhalb der Octave besitzt, oder, in Ermangelung eines solchen, eines APPUNN'schen »Obertöneapparates«, der ein *C* von 32 Schwingungen und seine 64 Obertöne in rein gestimmten Zungenpfeifenklängen enthält, und im übrigen genau so wie der früher (S. 84, Fig. 173) beschriebene Tonmesser construirt ist.

[1] Vgl. oben S. 66 f.

Zu specielleren Zwecken, namentlich für die Untersuchung des unten zu erörternden Verhältnisses der Dur- und Molldreiklänge, hat A. Appunn für das Leipziger psychologische Institut außerdem einen Accordapparat angefertigt, der die Töne *c es e g* in verschiedenen Tonlagen nebst den hauptsächlichsten zu ihnen gehörigen Differenz- und Obertönen, ebenfalls in Zungenpfeifenklängen, enthält.

b. Directe Klangverwandtschaft.

Der Grad der directen Verwandtschaft der Klänge wird ausschließlich durch ihre Partialtöne bestimmt. Zwei Klänge sind um so näher verwandt, je größer die Zahl und Stärke der Partialtöne ist, die sie gemein haben. Die Stärke der Partialtöne ist aber im allgemeinen von ihrer Ordnungszahl abhängig, indem sie in der Regel mit steigender Ordnungszahl abnimmt. Daraus folgt, dass nur solche Klänge merklich verwandt sind, bei denen die Schwingungsverhältnisse der Grundtöne durch kleine ganze Zahlen ausgedrückt werden. Denn nur wenn diese Bedingung zutrifft, stimmen Partialtöne von niedriger Ordnungszahl überein. Stehen z. B. die Grundtöne in dem Verhältniss der Quinte 2 : 3, so hat der erste Ton die Partialtöne 2, 4, 6, 8, 10, 12 . . . ., der zweite die Partialtöne 3, 6, 9, 12 . . . . Hier fällt der 3te Partialton des ersten mit dem 2ten des zweiten Klangs, ebenso der 6te mit dem 4ten, der 9te mit dem 6ten, der 12te mit dem 8ten u. s. w. zusammen. Beiden Klängen sind demnach mehrere Partialtöne von niedriger Ordnungszahl gemeinsam, deren Stärke hinreicht, sie sogleich als verwandte Klänge erscheinen zu lassen. Anders ist dies z. B. mit dem Verhältniss der Secunde 8 : 9. Hier stimmt erst der 8te Partialton des ersten mit dem 9ten des zweiten Klanges überein, dann wieder der 16te mit dem 18ten u. s. w. Schon die nächsten Partialtöne, die identisch sind, und noch mehr die späteren, besitzen also eine so hohe Ordnungszahl, dass sie jenseits der Grenzen noch empfindbarer Klangbestandtheile liegen.

Man hat den Grund für die bevorzugte Stellung bestimmter Tonintervalle zuweilen unmittelbar in dieser Einfachheit der Schwingungsverhältnisse zu finden geglaubt. Nun existiren für unsere Empfindung nicht die Schwingungszahlen, sondern nur die von ihnen abhängigen Beziehungen der Partialtöne. Insofern jedoch die übereinstimmenden Bestandtheile zweier Klänge zunehmen, wenn das Verhältniss der Schwingungszahlen einfacher wird, kann das letztere allerdings einen Maßstab der Klangverwandtschaft abgeben. In der That geben die Zahlen, welche die Intervalle der Grundtöne messen, immer zugleich an, welche unter den Partialtönen der beiden Klänge identisch sind. Wir gewinnen so, wenn wir uns auf diejenigen Klangverhältnisse beschränken, bei denen die

Ordnungszahlen der coincidirenden Partialtöne hinreichend niedrig sind, dass die Grenzen merklicher Klangverwandtschaft nicht erheblich überschritten werden, folgende Reihe[1]:

Intervalle (Grundton *C*)	Verhältniss der Schwingungszahlen	Ordnungszahlen der zusammenfallenden Partialtöne des tieferen Tons	des höheren Tons
Octave *c*	1 : 2	2, 4, 6, ‖8 u. s. w.	1, 2, 3, ‖4 u. s. w.
Doppeloctave c^1	1 : 4	4, ǀ8, ǀ12, 16	1, ‖2, ǀ3, 4
Duodecime *g*	1 : 3	3, 6, ǀ9, ǀ12	1, 2, ǀ3, ǀ4
Quinte *G*	2 : 3	3, 6, ǀ9, 12	2, 4, ‖6, ǀ8
Quarte *F*	3 : 4	4, ‖8, ǀ12, 16	3, ‖6, ǀ9, 12
Große Sexte *A*	3 : 5	5, ‖10, ǀ15, 20	3, ‖6, ǀ9, 12
Große Terz *E*	4 : 5	5, ‖10, ǀ15, 20	4, ‖8, ǀ12, 16
Kleine Terz *Es*	5 : 6	6, ‖12, 18, 24	5, ‖10, 15, 20
Verminderte Septime *B* —	4 : 7	7, ǀ14, 21, 28	4, ǀ8, 12, 16
Verminderte Quinte *Ges* —	5 : 7	7, ǀ14, 21, 28	5, ǀ10, 15, 20
Verminderte Terz *Es* —	6 : 7	7, ǀ14, 21, 28	6, ǀ12, 18, 24
Kleine Sexte *As*	5 : 8	8, ǀ16, 24, 32	5, ǀ10, 15, 20
Kleine Septime *B*	5 : 9	9, ǀ18, 27, 36	5, ǀ10, 15, 20
Uebermäßige Secunde *D* +	7 : 8	8, ǀ16, 24, 32	7, ǀ14, 21, 28
Uebermäßige Terz *E* +	7 : 9	9, ǀ18, 27, 36	7, ǀ14, 21, 28
Secunde *D*	8 : 9	9, ǀ18, 27, 36	8, ǀ16, 24, 32
Große Septime *H*	8 : 15	15, 30, 45, 60	8, ǀ16, 24, 32

In dieser Reihe sind die zusammenfallenden Partialtöne überall bis zum vierten aufgeführt. Um die Ordnung, in welcher die Klänge nach ihrer Verwandtschaft einander folgen, deutlicher übersehen zu lassen, sind diejenigen übereinstimmenden Klangbestandtheile, die vor dem 11ten Partialton des tieferen Klangs liegen, durch einen einfachen Verticalstrich, die vor dem 7ten Partialton durch einen Doppelstrich abgesondert. Im allgemeinen lässt sich annehmen, dass die Partialtöne bis zum 6ten verhältnissmäßig leicht wahrnehmbar sind. Wo vor diesem übereinstimmende Klangbestandtheile vorkommen, ist daher eine mehr oder weniger deutliche Verwandtschaft vorhanden. Die Partialtöne vom 6ten bis zum 10ten dagegen sind meist so schwach, dass sie für sich allein keine Klangverwandtschaft begründen und höchstens, wenn eine solche schon vorhanden ist, auf den Grad derselben von einigem Einfluss sein können. Die aufgeführten Intervalle trennen sich nun in folgende Gruppen:

---

[1] Bei der Stimmung der musikalischen Instrumente nach gleichschwebender Temperatur entsprechen die Intervalle nur bei den Octaven vollständig dem angegebenen Schwingungsverhältniss. Die hierdurch bedingten Abweichungen des Klangs sind zwar klein genug, um die Auffassung der Klangverwandtschaft nicht sehr zu beeinträchtigen. Gleichwohl ist es empfehlenswerth, die Verhältnisse der directen wie der indirecten Klangverwandtschaft nicht an Instrumenten mit temperirter Stimmung, wie z. B. am Klavier oder Harmonium, sondern an solchen mit reiner Stimmung zu untersuchen. (Siehe oben S. 395.)

1) Octave, Doppeloctave, Duodecime. Sie sind vor allen andern Intervallen dadurch ausgezeichnet, dass die Partialtöne des zweiten Klangs sämmtlich mit Partialtönen des ersten zusammenfallen. Der höhere Klang ist also hier eine einfache Wiederholung gewisser Bestandtheile des tieferen. Ebenso verhält es sich mit allen weiteren Intervallen, bei denen der Zähler des Schwingungsverhältnisses der Einheit gleich ist, wie 1 : 5, 1 : 6 u. s. w. Indem hier überall der höhere Klang nur die Obertonreihe des tieferen von einer bestimmten Stelle an reproducirt, liegt ein unvollständiger Einklang, nicht eigentlich ein Fall von Klangverwandtschaft vor. Je höher bei dem unvollständigen Einklang der zweite im Verhältniss zum ersten Klange liegt, um so kleiner wird übrigens die Reihe deutlich wahrnehmbarer Partialtöne, die zusammenfallen, um so unvollständiger erscheint daher der Einklang. Dieser ist bei der Doppeloctave schon viel schwächer als bei der Duodecime und vermindert sich noch mehr bei den weiter gegriffenen Intervallen, bei denen schließlich gar keine deutlich wahrnehmbaren Partialtöne mehr wirklich zusammenfallen, weil die des höheren Tons erst da beginnen, wo die des tieferen bereits aufgehört haben.

2) Duodecime und Quinte würden Intervalle von gleichem Verwandtschaftsgrad sein, wenn sich dieser bloß nach den übereinstimmenden Partialtönen und ihrer Ordnungszahl bestimmen ließe. Bei beiden sind bis zur 6ten Stufe des tieferen Klangs zwei, bis zur 10ten drei identische Partialtöne vorhanden. Aber diese Intervalle geben zugleich augenfällige Beispiele für die Verschiedenheit des unvollständigen Einklangs und der Klangverwandtschaft. Die Duodecime ist eine höhere Wiederholung der Quinte, bei der alle nicht übereinstimmenden Partialtöne des zweiten Klangs weggeblieben sind. Unter denjenigen Klangverhältnissen, die im eigentlichen Sinne verwandt genannt werden können, nimmt somit die Quinte die erste Stelle ein. Sie ist das einzige Intervall, das auf zwei verschiedene Partialtöne des ersten und auf einen verschiedenen des zweiten Klangs je einen übereinstimmenden hat[1].

3) Quarte, große Sexte und große Terz bilden zusammen eine Gruppe von annähernd gleichem Verwandtschaftsgrad. Bei jedem dieser Intervalle ist ein übereinstimmender Partialton innerhalb der fünf ersten, ein zweiter innerhalb der fünf folgenden Stufen der Obertonreihe des Grundklangs enthalten. Das Verhältniss der übereinstimmenden zu den verschiedenen Partialtönen begründet die angegebene Reihenfolge der

[1] Die Reihe der Partialtöne der beiden Klänge wird nämlich bei der Quinte dargestellt durch die Zahlen:

I (*C*)	2		4	6	8	10	12	14		16	
II (*G*)		3		6	9		12		15		u. s. w.

drei Intervalle. Bei der Quarte kommt nämlich auf 3 auseinanderfallende Partialtöne des ersten und auf 2 des zweiten Klangs, bei der großen Sexte auf 4 und 2, bei der großen Terz auf 4 und 3 je ein identischer Partialton. Die kleine Terz aber unterscheidet sich von jenen drei Intervallen nicht nur durch die höhere Ordnungszahl der zusammenfallenden Partialtöne, sondern auch durch die größere Zahl disparater Klangbestandtheile, indem sie erst auf 5 verschiedene Partialtöne des ersten und auf 4 des zweiten Klangs einen übereinstimmenden enthält[1].

Bei allen weiteren Intervallen, die in der obigen Tabelle noch enthalten sind, kann die directe Klangverwandtschaft als verschwindend klein angesehen werden, da die ersten zusammenfallenden Partialtöne zwischen dem 6ten und 10ten gelegen sind; bei der großen Septime überschreiten sie sogar diese Grenze. Man sieht aber sogleich, dass diejenigen Intervalle, die wir als verwandte kennen gelernt haben, in der Musik als mehr oder weniger harmonische Intervalle Geltung haben, und dass sie nach dem übereinstimmenden Harmoniegefühl im allgemeinen in die nämliche Reihenfolge gebracht worden sind, in die sie nach ihrer Verwandtschaft sich ordnen. Unter den Intervallen, welche erst durch Partialtöne, die über dem 6ten liegen, verwandt sind, wird noch die kleine Sexte als nahe gleichwerthig der kleinen Terz betrachtet; in der That wird bei ihr die höhere Lage des coincidirenden Partialtons des ersten Klangs durch die tiefere des zweiten etwas ausgeglichen. Noch näher steht an und für sich die verminderte Septime einer deutlichen Verwandtschaft; sie hat aber, weil sie sich zu mehrstimmigen Accorden weniger eignet, in der harmonischen Musik keine Verwendung gefunden.

Wie die Quinte ihren Charakter ändert, wenn sie, um eine Octave höher gelegt, zur Duodecime wird, so tritt dies auch bei den übrigen Intervallen ein. Doch keines derselben wird dabei mehr, wie die Quinte, zu einem unvollständigen Einklang, sondern alle andern bleiben innerhalb der Grenzen eigentlicher Verwandtschaft, wobei deren Grad entweder vermindert oder vergrößert wird. Die Verwandtschaft vermindert sich, wenn die Verhältnisszahl des tieferen Klangs eine ungerade, sie vergrößert sich, wenn sie eine gerade Zahl ist. Diese Regel folgt unmittelbar aus der Beziehung der zusammenfallenden

---

[1] Die Reihenfolge der Partialtöne ist bei den genannten vier Intervallen die folgende:

Quarte 3 : 4

I (*C*)	3		6		9	12	15		18		21	24
II (*F*)		4		8		12		16		20		24

Große Sexte 3 : 5

I (*C*)	3		6	9		12	15	18		21	24	
II (*A*)		5			10		15		20			25

Große Terz 4 : 5

I (*C*)	4		8		12		16	20	24		28	
II (*E*)		5		10		15		20		25		30

Kleine Terz 5 : 6

I (*C*)	5		10		15		20		25	30	35		40
II (*Es*)		6		12		18		24		30		36	

Partialtöne zu den relativen Schwingungszahlen. Ist nämlich die kleinere derselben geradzahlig, so wird durch deren Halbirung das Schwingungsverhältniss der tieferen Octave gewonnen. Nun ist aber, wie wir sahen, die Verhältnisszahl des ersten Klangs zugleich Ordnungszahl für den identischen Partialton des zweiten, die des zweiten Klangs Ordnungszahl für den identischen Partialton des ersten. Demnach wird in diesem Fall auch die Ordnungszahl der identischen Partialtöne des zweiten Klangs auf die Hälfte herabgesetzt, während die des ersten ungeändert bleibt. Ist dagegen die kleinere relative Schwingungszahl ungeradzahlig, so kann das Schwingungsverhältniss der Octave nur durch Verdoppelung der größeren erhalten werden. Jetzt bleibt daher die Ordnungszahl der Partialtöne des zweiten Klangs ungeändert, während die des ersten verdoppelt wird. Von allen Intervallen mit deutlicher Klangverwandtschaft wird demnach nur bei der Quinte und großen Terz durch den Uebergang zur Octave die Verwandtschaft verstärkt. Die Quinte entfernt sich durch den Uebergang zur Duodecime sogar aus dem Bereich der eigentlichen Klangverwandtschaft, indem sie zu einer der Octave analogen Klangwiederholung wird. Die große Terz wird zur großen Decime mit dem Schwingungsverhältniss 2 : 5, wobei schon der 2te Partialton des zweiten Klangs mit dem 5ten des ersten zusammenfällt. Bei allen andern consonanten Intervallen vermindert sich die Klangverwandtschaft: so beim Uebergang der Quarte zur Undecime (3 : 8), der großen Sexte zur Tredecime (3 : 10), der kleinen Terz zur kleinen Decime (5 : 12)[1].

Die directe Klangverwandtschaft ist nun als solche gebunden an die Aufeinanderfolge der Klänge. Sie tritt hier unmittelbar dadurch hervor, dass bei dem Wechsel der Klänge die übereinstimmenden Partialtöne bestehen bleiben. So dauern beim Uebergang vom Grundton zur Quinte der 3te, 6te .... Partialton des ersteren fort, während sich die übrigen verändern. In dem Zusammenklang ist dagegen die directe Verwandtschaft nicht als solche erkennbar. Dafür bilden dann aber hier die verwandten Klänge einerseits wegen der Coincidenz zahlreicher Partialtöne relativ einfachere Verbindungen. Anderseits sind die übereinstimmenden Partialtöne selbst intensivere Bestandtheile des ganzen Empfindungscomplexes als die übrigen Obertöne; sie können so bei Klängen mit starken Obertönen

[1] Als Beispiele für das verschiedene Verhalten dieser beiderlei Intervalle seien hier nur die Partialtöne der großen Terz und Quarte mit ihren Octavversetzungen angeführt:

Große Terz

I (C)	4		8		12		16	20
II (E)		5		10		15		20

Große Decime

I (C)	2	4		6	8	10
II (e)			5			10

Quarte

I (C)	3		6		9	12	15	
II (F)		4		8		12		16

Undecime

I (C)	3	6		9	12	15		18	21	24
II (f)			8				16			24

nahezu die Intensität der Grundtöne erreichen. Auf diese Weise helfen daher die übereinstimmenden Obertöne zunächst mit bei jener Entstehung der Klangeinheit, durch welche sich die consonanten Zusammenklänge wiederum den Einzelklängen nähern, während doch die Zusammensetzung aus einer Mehrheit von Tönen deutlicher als bei diesen ausgeprägt ist. Außerdem aber sind es die coincidirenden Obertöne, die durch die Verstärkung bestimmter Partialtöne der Klangmasse die charakteristische Tonfärbung des Zusammenklangs wesentlich mitbestimmen. In dieser Beziehung nähert sich das einfachste harmonische Intervall, die Quinte ($c:g$), am meisten in seinen akustischen Bedingungen durch die Coincidenz nahe liegender Obertöne, die wieder einfache Octavversetzungen des einen der beiden Grundtöne sind (g^1, g^2), einem wirklichen Einzelklang. Daraus erklärt sich die bekannte Thatsache, dass die Musik Quintenfolgen in der Melodie ebenso wie unausgefüllte Quinten bei consonanten Zusammenklängen zu vermeiden pflegt. Sie klingen uns leer und einförmig, weil sie der Klangwiederholung und dem Einklang immer noch allzu nahe stehen. Unter den übrigen Intervallen sind die Quarte ($c:f$) und die große Terz ($c:e$) ebenfalls dadurch ausgezeichnet, dass ihre übereinstimmenden Partialtöne Octavversetzungen eines Grundtons sind: es ist dies aber bei ihnen nicht der höhere, sondern der tiefere derselben (c), und die Coincidenz tritt erst in einer höheren Octave ein. Hieraus erhellt zugleich, dass die directe Klangverwandtschaft, die auf der Uebereinstimmung gewisser Partialtöne beruht, zwar *eine* der Bedingungen der Consonanz enthält, aber keineswegs diese selbst erklärt. Denn die Consonanz beruht nicht bloß auf jener Empfindung der Klangeinheit, die durch einzelne stärker hervortretende Partialtöne vermittelt werden kann, sondern immer zugleich auf der ihr entgegengesetzten *Unterscheidung von Klängen*, deren Tonhöhen in bestimmten Verhältnissen zu einander stehen. Hiervon überzeugt man sich sehr deutlich, wenn man abwechselnd zuerst die übereinstimmenden und dann die nicht zusammenfallenden Partialtöne eines Zusammenklanges verstärkt. Im ersteren Fall wird lediglich die Empfindung der Klangeinheit vergrößert; bei der Quinte kann dies so weit gehen, dass sie fast wie ein Einzelklang erscheint, der dann bei dem Intervall $c:g$ einem sehr obertonreichen g, der Dominante des Grundtons c, entspricht. Dagegen wird die Leerheit des Zusammenklangs bedeutend gemindert, wenn man gleichzeitig mehrere der nicht coincidirenden und mit den Haupttönen nicht übereinstimmenden Obertöne verstärkt. Die Prüfung des Einflusses der directen Klangverwandtschaft weist also unmittelbar auf ergänzende und ihr theilweise entgegenwirkende Bedingungen der musikalischen Harmonie hin, wie wir solche in der That in den Verhältnissen der indirecten Klangverwandtschaft kennen lernen werden.

Es ist die gewöhnliche Ansicht, dass die Empfindung der *Klangeinheit der Einzelklänge* durch die viel größere Stärke des Grundtons gegenüber den Obertönen bedingt werde. Diese Ansicht ist aber nur in beschränktem Maße richtig, nur insoweit nämlich, als der Grundton nicht so schwach sein darf, dass er gegen die Obertöne verschwindet. Dagegen wird die Empfindung der Klangeinheit kaum geschwächt, wenn die Obertöne ebenso stark sind wie der Grundton, ja wenn einzelne ihn sogar übertreffen, sondern es wird dadurch immer nur die Klangfarbe verändert, nicht die Vorstellung des Einzelklangs aufgehoben. Man kann sich hiervon an dem Obertöneapparat überzeugen, wenn man z. B. zuerst den Duraccord 4 : 5 : 6 angibt und dann dessen drei Untertöne 1, 2, 3 in gleicher Stärke hinzufügt: die bei dem Dreiklang trotz der auch hier nicht fehlenden Empfindung der Klangeinheit so ausgeprägte Vorstellung eines Zusammenstimmens mehrerer Töne hört dann augenblicklich auf, und man glaubt nur noch einen einzigen Klang von sehr voller Klangfarbe zu hören. Die erste Bedingung für das Zustandekommen der Vorstellung des Einzelklangs ist also, dass in einer Reihe von Partialtönen, deren Schwingungszahlen der Reihe der einfachen ganzen Zahlen entsprechen, der Grundton mit der Schwingungszahl 1 in hinreichender Stärke vorkomme. Daneben wird aber diese Vorstellung der Klangeinheit offenbar auch durch die Verstärkung einzelner Obertöne in Folge ihrer Coincidenz begünstigt. Denn wenn man relativ obertonfreie Stimmgabelklänge unter sonst gleichen Bedingungen anwendet, indem man mittelst der in Fig. 171, S. 82 geschilderten Vorrichtungen die Töne der in gleicher Stärke ausklingenden Stimmgabeln simultan auf das Ohr einwirken lässt, so erhält man jenen Eindruck der Klangeinheit durchaus nicht in gleichem Grade.

Abweichend von den beim Einzelklang gegebenen Bedingungen verhält sich die Vorstellung des *Zusammenklangs*. Insoweit nicht durch Combinationstöne eine Annäherung an den Einzelklang herbeigeführt wird, auf die wir unten zurückkommen werden, liegen hier Motive der *Klangeinheit* in den zusammenfallenden, der *Klangverschiedenheit* in den nicht zusammenfallenden Partialtönen. Die Empfindung der Klangeinheit überwiegt, wenn die übereinstimmenden Partialtöne vorherrschen. Zugleich bildet aber ihr *Verhältniss zu den Grundtönen* einen Hauptfactor für die Bestimmung des musikalischen Charakters der Accorde; ein zweiter liegt in den *Nebenintervallen*, die durch die Verhältnisse einzelner Partialtöne zu einander entstehen, und unter denen wieder die Verhältnisse der dominirenden Obertöne eine Hauptrolle spielen. Für die Hauptaccorde Quinte, Quarte, Gr. Terz, Kl. Terz, Gr. Sexte, Kl. Sexte übersieht man dies aus der folgenden Uebersicht:

Grundtöne:		Obertöne:							
Quinte	$c : g$	c^1	$\underline{g^1}$	c^2	d^2	e^2	$\underline{g^2}$	b^2	h^2
Quarte	$c : f$	c^1	f^1	g^1	$\underline{c^2}$	e^2	f^2	g^2	a^2
Große Terz	$c : e$	c^1	e^1	g^1	h^1	c^2	$\underline{e^2}$	g^2	ges^2
Kleine Terz	$c : es$	c^1	es^1	g^1	b^1	c^2	es^2	e^2	$\underline{g^2}$
Große Sexte	$c : a$	c^1	g^1	a^1	c^2	$\underline{e^2}$	g^2	a^2	b^2
Kleine Sexte	$c : as$	c^1	g^1	as^1	c^2	es^2	e^2	g^2	$\underline{c^3}$

Die Obertöne sind bis zum 8ten angegeben, ausgenommen beim letzten Intervall, wo statt des 8ten der 10te genommen wurde, weil er ein Coincidenzton ist. Die zusammenfallenden Partialtöne sind unterstrichen. In Bezug auf das Verhältniss dieser zu den Grundklängen zerfallen die angeführten Intervalle in drei Gruppen: bei der ersten (Quinte und gr. Terz) ist der dominirende Partialton eine Octavwiederholung des zweiten Tons; bei der Quarte und kl. Sexte ist er eine Octavwiederholung des ersten Tons, doch liegt er bei letzterem Intervall sehr hoch, um eine 3fache Octave entfernt; endlich bei der kl. Terz und gr. Sexte stimmen die dominirenden Obertöne mit keinem der Grundtöne überein. Man überzeugt sich nun z. B. bei wechselnder Verstärkung der Partialtöne leicht, dass der Charakter der Quinte vorzugsweise von dem dominirenden g und nebenbei noch von den Accordbestandtheilen $g^1 c^2$ (Quarte), $c^2 e^2$ (gr. Terz) und $e^2 g^2$ (kl. Terz) bestimmt wird. Je mehr die Quintwiederholungen $c^1 g^1$, $c^2 g^2$ überwiegen, um so leerer klingt die Quinte; je stärker die höheren Terzen mitklingen, um so consonanter erscheint sie. Der Unterschied der großen und kleinen Terz wird hauptsächlich dadurch bestimmt, dass bei der ersteren der dominirende Oberton eine Wiederholung des höheren Grundtons ist, während er bei der zweiten nicht den Grundtönen selbst angehört, sondern den tieferen derselben zur Quinte ergänzt. In Bezug auf die Accordbestandtheile ihrer Obertöne sind beide Intervalle sehr gleichförmig aufgebaut, da bei ihnen die Terzenfolgen, gr. Terz—kl. Terz im einen, kl. Terz —gr. Terz im andern Fall, durchaus überwiegen. Dass der dominirende Oberton der Quarte die Octavwiederholung des tieferen, nicht des höheren Grundtons ist, bedingt hauptsächlich ihren verschiedenen Klangcharakter gegenüber der Quinte und gr. Terz. Die Quarte nähert sich daher dem Quintcharakter, wenn man statt des c^2 das f^2 verstärkt, ebenso wie sich die Quinte und große Terz umgekehrt in ihrem Klangcharakter der Quarte nähern, wenn man statt des g^1, g^2 und e^2 beide Male das c^2 verstärkt. Als Nebenintervalle wirken, abgesehen von den Quartwiederholungen der Obertöne, namentlich die Quinten ($c^1 g^1$, $c^2 g^2$), und Terzen ($c^2 e^2$, $e^2 g^2$, $f^2 a^2$). Die große Sexte hat einen mit keinem der Grundtöne übereinstimmenden dominirenden Oberton. Wie bei der kleinen Terz dieser Oberton eine Quintergänzung des tieferen, so bildet derselbe aber bei der Sexte eine Quintergänzung des höheren der beiden Grundtöne ($c a e^2$); auch als Nebenintervalle wiegen neben den Sextwiederholungen die Quinten vor ($c^1 g^1$, $a^1 e^2$, $c^2 g^2$). Dadurch erscheint das Intervall nach seinem Klangcharakter als eine minder consonante Nachbildung der Quinte. Im übrigen aber zeichnen sich die beiden Sexten durch ihre große und darum unübersehbare Zahl von Nebenintervallen (Quinten, Quarten und Terzen) aus, durch die sie in einen starken Gegensatz zu den auch in dieser Beziehung so viel regelmäßiger aufgebauten vorangegangenen Intervallen treten. Diese Eigenschaft verleiht ihnen einen Charakter harmonischer Unbestimmtheit, durch den sie sich ebenso sehr von den streng consonanten, wie von den vollkommen dissonanten Intervallen unterscheiden. Experimentell prägt sich dies darin aus, dass man durch willkürliche Verstärkung einzelner der Nebenintervalle ihren Charakter bald diesem bald jenem einfacheren Grundintervall ähnlich gestalten kann.

In dem hier erörterten Einfluss der Nebenintervalle ist zugleich die Grundlage gegeben für das nähere Verständniss jener früher (S. 417 f.) bereits besprochenen Unterschiede der Klangfärbung der Einzelklänge, welche

musikalische Klangquellen je nach der verschiedenen Beschaffenheit der mit den Einzeltönen sich verbindenden Obertöne auszeichnet. Die unbestimmten Ausdrücke, mit denen man die Klangfärbung verschiedener Instrumente zu schildern pflegt, sind nicht nur an sich wenig bezeichnend, sondern sie lassen auch die Ursachen dieser besonderen Wirkung des Einzelklanges ganz dahingestellt. Diese Ursachen können aber nur mit denen der Wirkung des Zusammenklanges übereinstimmend sein, wie daraus hervorgeht, dass die Effecte gewisser Klangfärbungen denjenigen bestimmter Zusammenklänge unmittelbar verwandt erscheinen. Auch hiervon überzeugt man sich leicht an dem Obertöneapparat, an welchem Klangfärbungen willkürlich hervorgebracht, verstärkt oder modificirt werden können, je nachdem man in wechselnder Weise Obertöne zu einem bestimmten Grundton hinzufügt. Hierbei wirken nun die hinzutretenden Obertöne offenbar genau in derselben Weise, wie bei der Verbindung mit bestimmten Zusammenklängen. So verdankt denn auch sichtlich z. B. ein Klang mit der vollen Obertonreihe 2, 3, 4, 5, 6 . . . seine harmonische Fülle wesentlich den in ihm annähernd gleichmäßig vertretenen harmonischen Obertonintervallen der Quinte, Quarte und der beiden Terzen. Klänge, wie diejenigen gezupfter Saiten, in denen vorzugsweise die geradzahligen Partialtöne 2, 4, 6, 8 . . . vertreten sind, lassen die Leerheit des reinen Octaven- und Quintenschrittes ihrer Nebentöne nicht verkennen, während dagegen die durch die ungeradzahligen Obertöne 3, 5, 7 . . . ausgezeichneten Klänge der Clarinetten, Oboen und Fagotte schon im Einzelklang eine Verwandtschaft mit dem Sextintervall darbieten. Noch fehlt es an einer zureichenden Einzeluntersuchung der Instrumentalklänge mit Rücksicht auf diese Beziehungen zu bestimmten consonanten Zusammenklängen. Auch würde es sich lohnen nachzuweisen, wie das musikalische Klanggefühl der Componisten bei der Wahl der Instrumentation unbewusst von dieser Verwandtschaft zwischen Klangfärbung und Zusammenklang geleitet wurde.

c. Indirecte Klangverwandtschaft.

Von der directen Verwandtschaft verschiedener Klänge scheidet sich die indirecte Verwandtschaft als diejenige, die in der Beziehung zu einem gemeinsamen Grundklang begründet ist. Indirect verwandt werden wir nämlich solche Klänge nennen können, in denen Bestandtheile enthalten sind, die einem und demselben dritten, von jenen beiden Klängen verschiedenen Einzelklang angehören (S. 395). Die indirecte Verwandtschaft kann vorhanden sein, auch wenn die directe fehlt oder schwach ausgebildet ist, da die letztere die Existenz deutlich empfindbarer Obertöne zu ihrer Voraussetzung hat. Dagegen ist die directe ihrerseits immer auch mit indirecter Verwandtschaft verbunden. Denn nach den allgemeinen Gesetzen der Klangerzeugung und Klangempfindung bilden die übereinstimmenden Obertöne verwandter Klänge zugleich Obertöne eines tieferen Klangs, welcher demnach als ihr gemeinsamer Grundklang betrachtet werden kann. In der Quinte 2 : 3 sind z. B. die Grundtöne eines jeden

Klanges die nächsten Obertöne eines tieferen Klanges von der Schwingungszahl 1. Weiterhin sind aber auch die höheren Partialtöne 4, 6, 8 .... und 6, 9, 12 .... Obertöne des nämlichen Grundklanges. Ebenso hat für alle andern Intervalle, sobald man dieselben in den einfachsten ganzen Zahlen ausdrückt, der Grundklang, in welchem die Partialtöne der beiden Klänge als höhere Obertöne enthalten sind, die Schwingungszahl 1.

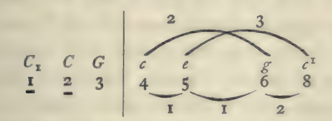
Aehnlich wie der Grad der directen Verwandtschaft nach der Nähe, der Stärke und Anzahl der coincidirenden Obertöne, so wird nun die indirecte Klangverwandtschaft nach den entsprechenden Eigenschaften der zugehörigen Grundklänge zu bemessen sein. Indem die Stärke der Partialtöne im allgemeinen mit steigender Ordnungszahl abnimmt, werden die Einzelklänge eines Zusammenklangs um so mehr als Bestandtheile eines solchen gemeinsamen Grundklanges aufgefasst werden können, je nähere Partialtöne desselben sie sind. In allen den Fällen aber, in denen die directe Verwandtschaft auf einer bloßen Wiederholung gewisser Partialtöne des einen Klangs durch die des andern, ohne gleichzeitige Verschiedenheit anderer Partialtöne, beruht, wie bei Octave, Duodecime, Doppeloctave u. s. w., fällt auch in Bezug auf die indirecte Verwandtschaft der gemeinsame Grundklang unmittelbar mit dem tieferen der beiden Töne zusammen. Darum kann hier von einer indirecten Verwandtschaft im eigentlichen Sinne ebenfalls nicht mehr die Rede sein: der höhere Klang ist selbst ein Bestandtheil des tieferen, beide sind nicht erst in einem und demselben dritten Klange enthalten. Auch in dieser Beziehung besitzen also, ähnlich wie nach ihrer directen Verwandtschaft, jene einfachsten Intervalle, wenn die Töne gleichzeitig angegeben werden, mehr den Charakter von Einzelklängen als von wirklichen Zweiklängen. Die im engeren Sinne verwandten Intervalle ordnen sich dann aber weiterhin in derselben Reihenfolge an einander, wie nach ihrer directen Verwandtschaft. Dies zeigt die folgende kleine Tabelle, die zu jedem der Intervalle den primären Grundklang und dessen Entfernung angibt:

Intervall	Grundklang	Entfernung desselben nach unten vom tieferen	vom höheren Klang
Quinte $(C:G)$	C_1	Octave	Duodecime
Quarte $(C:F)$	F_2	Duodecime	Doppeloctave
Große Sext $(C:A)$ ..	F_2	Duodecime	Doppeloctave und Terz
Große Terz $(C:E)$ ..	C_2	Doppeloctave	Doppeloctave und Terz
Kleine Terz $(C:Es)$ ..	As_3	Doppeloctave und Terz	Doppeloctave und Quinte

So lange nun verschiedene Klänge nur in ihrer Aufeinanderfolge einwirken, ist allein die Beziehung durch directe Verwandtschaft unmittelbar

durch die im Wechsel dauernden Tonelemente in der Empfindung gegeben. Die indirecte Verwandtschaft kann hier bloß in der Form einer associativen Beziehung vorhanden sein, vermöge deren Töne, die fortwährend als zusammengehörige Elemente eines Einzelklangs empfunden werden, auch dann, wenn sie successiv auftreten, auf den herrschenden Bestandtheil jenes Einzelklangs, den Grundton, zurückbezogen werden. Anders verhält sich dies beim harmonischen Zusammenklang. Während sich bei ihm die übereinstimmenden Töne aus Elementen, die bei der Aufeinanderfolge der Klänge deren directe Verwandtschaft bestimmen, in coincidirende Töne, also in stärkere und darum charakteristische Accordbestandtheile umwandeln, werden zugleich die Grundklänge zu wirklichen Bestandtheilen der Empfindung. Denn in Folge des Zusammentreffens der Tonwellen entstehen Differenztöne, unter denen der erste, derjenige, dessen Schwingungszahl der Differenz der beiden Haupttöne entspricht, am stärksten ist (S. 92 ff.). Stets fällt aber der Differenzton bei solchen Intervallen, deren Schwingungsverhältniss um eine Einheit verschieden ist, mit dem Grundklang zusammen: dieser wird also beim Zusammenklang selbst gehört. Je näher daher der Differenzton den direct angegebenen Klängen liegt, um so mehr gleicht der Zusammenklang qualitativ einem vollständigen Einzelklang. Entfernt er sich weiter, so bleibt zwischen ihm und dem angestimmten Intervall ein größerer Zwischenraum unausgefüllt, der gerade solchen Partialtönen entspricht, die in einem vollständigen Klang sehr deutlich zu hören sind: hier bildet daher der Differenzton mit den direct angegebenen Klängen eine unvollkommenere Klangeinheit. So hat die Quinte 2 : 3 den Differenzton 1: sie umfasst mit ihm zusammen die drei tiefsten Partialtöne eines vollständigen Klanges. Dagegen fällt schon bei der Quarte, die mit ihrem Differenzton den Dreiklang 1 : 3 : 4 bildet, der 2te Partialton aus; bei der großen Terz (1 : 4 : 5) ist dasselbe mit dem 2ten und 3ten, bei der kleinen Terz (1 : 5 : 6) sogar mit dem 2ten, 3ten und 4ten Partialton der Fall. Demnach ist bei der Quinte die indirecte Klangverwandtschaft am größten: im Zusammenklang ist sie die getreue Nachbildung eines vollständigen Klangs, nur dadurch von diesem verschieden, dass der Grundton geschwächt, und dass die zwei ersten Partialtöne verstärkt sind. Dagegen wird bei der Quarte, der großen und kleinen Terz die Verwandtschaft eine unvollkommenere. Indem aber in der Musik die große Terz die Quinte ergänzt, erzeugt sie mit ihr zusammen eine vollkommenere Nachbildung des vollständigen Klangs. Die Quarte und kleine Terz sind dann in gewissem Sinne Umkehrungen der Quinte und großen Terz. Nimmt man nämlich statt des tieferen Tons der Quarte dessen höhere Octave, so ist das neu entstehende Intervall $F : C$ eine Quinte: man kann daher auch die Quarte

als eine Quinte betrachten, deren höherer Ton um eine Octave vertieft ist. Ergänzt man ferner die Quinte durch die große Terz, so entsprechen dem hierdurch entstehenden Dreiklang die Schwingungsverhältnisse 4 : 5 : 6, wo 4 : 6 die Quinte, 4 : 5 die große Terz, das dritte Intervall 5 : 6 aber eine kleine Terz ist. Die letztere ergänzt so in ähnlicher Weise die große Terz zur Quinte, wie diese durch die Quarte zur Octave ergänzt wird. Durch das Zusammenwirken dieser Intervalle in mehrstimmigen Accorden kann daher eine Reihe tiefer liegender Grundklänge theils associativ erregt werden, theils auch direct entstehen, infolge der Bildung von Differenztönen, auf denen die unmittelbaren Accordbestandtheile als zugehörige Elemente der nämlichen Klangeinheit sich aufbauen. So entsprechen dem durch die Quartergänzung der Quinte aus dem Dreiklang entstehenden Vierklang $ceg c^1$ folgende Grundklänge:



Mit dieser Ergänzung entspricht also der Accord in seiner qualitativen Zusammensetzung aus elementaren Tonempfindungen vollständig einem Klang C_1 mit seinen Obertönen. Doch während im Einzelklang der tiefste Ton dominirt, herrschen im Accord bestimmte höhere Töne vor; die Grundklänge werden nur schwach mitgehört, und in der Klangfolge bilden sie sogar nur die associativen Beziehungspunkte der direct gehörten Töne. Diesem Unterschied in dem Intensitätsverhältniss der Klangbestandtheile entspricht ein analoger der zusammengesetzten Klangform. Durch den als Grundklang wirkenden Differenzton und dessen harmonische Obertöne wird auch bei dem Zusammenklang eine einheitliche Schwingungsform erzeugt. Indem aber diese gegenüber den Schwingungen der in sie eingehenden Einzelklänge nur schwach angedeutet ist, kann sie auch in der Empfindung nur schwächer sich ausprägen.

Bei den Intervallen, deren Grundklang eine tiefere Octave des tieferen der beiden directen Klänge ist, also bei Quinte und großer Terz, tritt die indirecte Verwandtschaft der Klänge am deutlichsten hervor, theils weil die associative Erregung eines tieferen Octaventons wegen der Klangeinheit der Octaven leichter geschieht als die eines andern Intervalls, theils weil aus ähnlichem Grunde beim Zusammenklang der Grundklang deutlicher empfunden wird. Ungünstiger verhält sich in dieser Beziehung schon die Quarte, die auch darin als die Umkehrung der Quinte erscheint, dass bei ihr nicht der tiefere, sondern der höhere der beiden Klänge eine

Octavenversetzung des Grundklangs ist. Noch mehr trübt sich die Beziehung zu diesem bei der kleinen Terz sowie bei denjenigen Intervallen, deren einfachste Schwingungsverhältnisse um mehr als eine Einheit verschieden sind, wie der großen Sext (3:5), der kleinen Sext (5:8), kleinen Septime (5 : 9) u. s. w. Bei der großen Sext ist der Grundklang die tiefere Quinte, bei der kleinen Septime die große Terz, bei der kleinen Sext die tiefere große Sext des ersten Klangs.

Directe und indirecte Klangverwandtschaft treffen nun aber nicht nur immer zusammen, sondern es sind auch je zwei Klänge sowohl direct als indirect immer im gleichen Grade verwandt, sofern wir als Maß der directen Verwandtschaft die Entfernung des ersten gemeinsamen Obertons vom höheren, als Maß der indirecten die Entfernung des gemeinsamen Grundtons vom tieferen der beiden Töne betrachten können. So ergibt sich aus der auf S. 397 mitgetheilten Tabelle, dass bei der Quinte der nächste zusammenfallende Oberton der 3te Partialton, also die Duodecime, des ersten, und der 2te, also die Octave, des zweiten Klangs ist; nach der kleinen Tafel auf S. 405 liegt aber der Grundklang der Quinte eine Octave unter dem tieferen, eine Duodecime unter dem höheren Ton. Aehnlich bei den übrigen Intervallen. Der gemeinsame Grundton liegt daher bei allen Intervallen ebenso weit von dem tieferen wie der gemeinsame Oberton von dem höheren der beiden Klänge entfernt. Aber während der letztere immer gehört wird, ob man nun die Klänge gleichzeitig oder successiv angibt, kann der erstere nur beim Zusammenklang zu einem wirklichen Bestandtheil der Empfindung werden.

Weniger einfach gestaltet sich die Beziehung der beiden Arten der Klangverwandtschaft, wenn statt zweier Klänge drei oder mehrere sei es in der Form der Aufeinanderfolge sei es in der des Zusammenklangs sich verbinden. Die Zahl der allen Klängen gemeinsamen Partialtöne nimmt hier natürlich mit der Zahl der verbundenen Klänge ab, dagegen werden dieselben durch ihre mehrfache Häufung stärker gehoben. Aehnlich verhält es sich mit dem gemeinsamen Grundton. Dieser drängt sich, als coincidirender Differenzton mehrerer Zweiklänge, intensiver zur Auffassung und erscheint darum deutlicher als Grundton der ganzen Klangmasse. Dazu ist auch hier wieder erforderlich, dass der Grundton den zusammenwirkenden Klängen hinreichend nahe liegt, um mit ihnen eine Klangeinheit bilden zu können. Die mehrfachen Klangverbindungen unterscheiden sich aber von dem Zweiklang außerdem wesentlich dadurch, dass bei ihnen der gemeinsame Grundton und Oberton nicht mehr gleich weit von den direct angegebenen Klängen entfernt sind. Der Dreiklang, der für alle diese zusammengesetzteren Klangverbindungen den Ausgangs-

punkt bildet, ist in diesem Sinne, im Gegensatze zu den symmetrisch gebildeten Zweiklängen, eine asymmetrische Verbindung. Auf diesem Verhältniss beruht, wie A. von Oettingen[1] gezeigt hat, der charakteristische Gegensatz der Dur- und Mollaccorde. Bei den Duraccorden klingt der gemeinsame Grundton in dem Zusammenklang als unmittelbarer Differenzton mit und bildet mit den Haupttönen des Accords eine deutliche Klangeinheit. Bei den Mollaccorden tritt er nur als ein Differenzton höherer Ordnung auf, der eine weit geringere Intensität besitzt, überdies aber mit keinem der Haupttöne übereinstimmt. Beispielsweise mögen der *C*-Dur- und der *C*-Mollaccord in ihre Klangbestandtheile zergliedert werden. Die Haupttöne des ersteren sind $c : e : g$ mit den Schwingungszahlen 4 : 5 : 6. Der gemeinsame Grundton 1 ist das 2 Octaven unter c liegende C_1, welches als gleichzeitiger Differenzton von $c : e$ und $e : g$ deutlich den Accord begleitet; nebenbei wird schwächer der Differenzton C gehört, welcher der Quinte (4 : 6) entspricht. Da die Obertöne eines jeden Klangs durch Vielfache seiner Schwingungszahl ausgedrückt werden, so muss ferner der erste gemeinsame Oberton einem Vielfachen der Schwingungszahl eines jeden der drei Töne entsprechen, d. h. diese Zahl muss durch 4, 5 und 6 theilbar sein. Der übereinstimmende Oberton hat also die Schwingungszahl 60: es ist dies der 10te Partialton des g, das um 3 Octaven und eine Terz von ihm entfernte h^3. Für den Mollaccord $c : es : g$ ist 10 : 12 : 15 das einfachste Verhältniss der Schwingungszahlen. Sein gemeinsamer Grundton ist wieder 1, d. h. derjenige tiefere Ton, dessen 10ter Partialton c ist. Dies ist das 3 Octaven und eine Terz unter c liegende As_3, welches zu keinem der Intervalle Differenzton erster Ordnung ist und beim Anstimmen des Accords nur bei höherer Lage der primären Töne gehört wird. Die hörbaren Differenztöne haben die Zahlen 2, 3 und 5, sie sind As_2, Es_1 und C; sie coincidiren nicht, keiner ist daher als gemeinsamer Bestandtheil der ganzen Klangverbindung ausgezeichnet; nur der zweite und dritte wiederholen sich im Accord als höhere Octaven. Der erste übereinstimmende Oberton dagegen hat abermals die Schwingungszahl 60, er ist der 4te Partialton oder die 2te Octave des Tones g, das g^2. Beim Anschlagen des Accords $c\ es\ g$ hört man daher dieses g^2 deutlich mitklingen, während jener identische Partialton h^3 des Accords $c\ e\ g$ wegen seiner hohen Ordnungszahl kaum mehr wahrgenommen werden kann. Beide Zusammenklänge unterscheiden sich also dadurch, dass die Töne des Duraccords als Bestandtheile eines einzigen Grundklangs erscheinen, die des Mollaccords unmittelbar einen hohen gemeinsamen Partialton besitzen. Beide Zusammenklänge ergänzen sich aber wiederum insofern,

[1] A. von Oettingen, Harmoniesystem in dualer Entwicklung. 1866.

als der gemeinsame Grundton des Duraccords ebenso weit unter dem tiefsten Hauptton, wie der gemeinsame Oberton des Mollaccords über dem höchsten Hauptton des Zusammenklangs liegt. Jene Gleichheit der Distanz von Grund- und Oberton, die den einzelnen Zweiklang auszeichnet, vertheilt sich also hier auf zwei Dreiklänge. Betrachtet man demnach als dominirenden Ton des Accords in jedem dieser Fälle denjenigen Ton, von dem das eine Mal der gemeinsame Grundton, das andere Mal der gemeinsame Oberton gleichweit entfernt ist, so tritt diese duale Symmetrie noch deutlicher hervor, und man gewinnt auf diese Weise zugleich diejenigen beiden Dreiklänge, die einander nach ihrem Toncharakter wirklich ergänzen. Nimmt man z. B. den Ton *d* als Hauptton, so entspricht dem von ihm aus aufsteigenden Accord *d fis a* der zwei Octaven unter *d* liegende Grundton D_1, auf dem sich der Dreiklang selbst als Obertonreihe aufbaut. Demselben Hauptton *d* steht aber der absteigende Accord *d b g* gegenüber, zu dessen drei Tönen das um zwei Octaven über *d* liegende d^2 als gemeinsamer Oberton gehört. Dem Duraccord entspricht also die aufsteigende, dem Mollaccord die absteigende Tonbewegung, und zwischen den beiden Tönen D_1 und d^2, von denen diese Bewegungen ausgehen, bildet der Ton *d* die reine Mitte. Dieser Symmetrie der Tonbewegungen in der Empfindung entspricht nun eine ebensolche Symmetrie der objectiven Tonschwingungen: wie die Verhältnisse der Haupttöne des aufsteigenden Dreiklangs durch die Zahlen $4 : 5 : 6$, so werden die des absteigenden durch die entsprechenden gebrochenen Zahlen $\frac{1}{4} : \frac{1}{5} : \frac{1}{6}$ ausgedrückt[1]. Unsere musikalische Benennung hat diese Verhältnisse verwischt, indem sie in einseitiger Weise die aufsteigende Bewegung der Dur- auch auf die Molltonleiter anwandte, so dass sie z. B. den zum *D*-Duraccord gehörigen absteigenden Dreiklang nicht nach dem oberen Ausgangston, sondern nach dem unten liegenden Endton als den *G*-Molldreiklang, den zu dem *C*-Duraccord gehörenden als den *A*-Molldreiklang bezeichnet, u. s. w.[2]

In den angegebenen Verhältnissen der Hauptaccorde liegen, wie namentlich von Oettingen in seinem »Harmoniesystem« und, nach verschiedenen Richtungen ergänzend, H. Riemann in seiner »musikalischen Syntaxis« ausgeführt

---

[1] Auf den Oberton 60 bezogen entsprechen sie nämlich den oben für den Molldreiklang angegebenen Verhältnissen in absteigender Ordnung: $15 : 12 : 10$. Oettingen und Riemann bezeichnen demgemäß nach dem je zwei auf- und absteigenden Accorden gemeinsamen Ausgangston die verschiedenen Tonarten durch die Zeichen $^+$ für das Dur-, $^\circ$ für das sogenannte Mollgeschlecht: d^+ bezeichnet also z. B. den Stammaccord *d fis a* (*D*-Dur), d° (oder auch $^\circ d$) den dazu gehörigen absteigenden *d b g* (*G*-Moll).

[2] A. von Oettingen, Harmoniesystem in dualer Entwicklung. 1866. Das duale System der Harmonie, in Ostwalds Annalen der Naturphilosophie, Bd. 1, 1902, S. 62. H. Riemann, Musikalische Syntaxis. 1877, S. 24 ff.

hat, die wesentlichsten Regeln der Ton- und Accordfolge begründet, auf die wir, so weit sie für die psychologische Frage nach dem Wesen der Consonanz und Dissonanz von Bedeutung sind, unten zurückkommen werden. Es sei darum hier nur noch kurz der Umwandlungen gedacht, welchen die angegebenen Hauptaccorde durch die Umlagerungen unterworfen sind, die einzelne der in sie eingehenden Töne durch die Bewegung in bestimmten Intervallen erfahren. Aus den Stammaccorden der Dur- und Molltonart entspringen nämlich abgeleitete, den ursprünglichen verwandte Dreiklänge, wenn man zuerst die Reihenfolge der Klänge verändert und dann die so entstandenen Intervalle wieder auf den nämlichen Grundton zurückbezieht. So werden z. B. aus den Dreiklängen $c:e:g$ und $c:es:g$ die folgenden vier abgeleiteten Accorde gewonnen:

$$3)\quad e:g:c^1 = c:es:as\ (\overbrace{\underbrace{5:6}_{\text{Kl.Terz}}:\underbrace{8}_{\text{Quarte}}}^{\text{Kl. Sext}})$$

$$4)\quad es:g:c^1 = c:e:a\ (\overbrace{\underbrace{12:15}_{\text{Gr.Terz}}:\underbrace{20}_{\text{Quarte}}}^{\text{Gr. Sext}})$$

$$5)\quad g:c^1:e^1 = c:f:a\ (\overbrace{\underbrace{6:8}_{\text{Quarte}}:\underbrace{10}_{\text{Gr.Terz}}}^{\text{Gr. Sext}})$$

$$6)\quad g:c^1:es^1 = c:f:as\ (\overbrace{\underbrace{15:20}_{\text{Quarte}}:\underbrace{24}_{\text{Kl.Terz}}}^{\text{Kl. Sext}})$$

3 und 5 sind Umlagerungen des Dur-, 4 und 6 solche des Mollaccords. In jedem dieser Accorde ist nur eine große oder kleine Terz enthalten, die andere ist durch eine Quarte, die Quinte durch eine große oder kleine Sext ersetzt. In Folge dessen ändern sich die Grade der directen und indirecten Klangverwandtschaft. Nur der Accord 5 hat einen Grundton (= 2), der zugleich gemeinsamer Differenzton erster Ordnung für die beiden Intervalle $g:c^1$ und $c^1:e^1$ ist: er ist die tiefere Duodecime des ersten Tons, also bei der Lage $g:c^1:e^1$ der Ton B, der, wie im Stammaccord, 2 Octaven unter dem direct angegebenen c^1 liegt; außerdem klingt c (= 4) als weiterer Klangbestandtheil mit. Der Accord 3 hat die einzelnen Untertöne $C_1 = 1$, $C = 2$ und $G = 3$, welche sämmtlich wieder harmonische Bestandtheile des Accords sind, ohne dass jedoch, wie im vorigen Fall, zwei derselben coincidiren. Zum Accord 4 gehören $Es_1 = 3$, $C = 5$ und $B = 8$, von denen nur die beiden ersten zugleich harmonische Grundtöne sind. Zum Accord 6 gehören endlich $C = 5$, $As_1 = 4$ und $B = 9$, von denen nur C zum ursprünglichen Klang harmonisch ist, während As_1 und B fremdartige Bestandtheile sind. Demnach entsprechen den Duraccorden 3 und 5 lauter Untertöne, in denen sich Theile des Accords in tieferer Lage wiederholen; unter ihnen steht aber der Dreiklang $g:c^1:e^1$ dem Stammaccord am nächsten, weil auch er bloß tiefere C's zu Differenztönen hat, darunter eines, das coincidirender Differenz-

ton und zugleich Grundton der ganzen Klangmasse ist. Bei den Mollaccorden stimmt nur ein Theil der Grundklänge mit den ursprünglichen Accordbestandtheilen überein. Anders verhält es sich mit den höheren Partialtönen der einzelnen Klänge. Hier liegen wieder die übereinstimmenden Obertöne bei den aus dem Stammaccord der Molltonart hervorgegangenen Dreiklängen 4 und 6 den Grundtönen des Accords viel näher als bei den Duraccorden 3 und 5, bei denen sie im allgemeinen außer den Bereich der deutlichen Wahrnehmbarkeit fallen. Bei den Accorden 3 und 5 coincidirt nämlich erst ein Oberton von der Schwingungszahl 120, d. h. bei 3 der 15., bei 5 der 12. Partialton des höchsten Klangs. Der Accord 4 hat dagegen einen übereinstimmenden Oberton von der Schwingungszahl 60, welcher der 3te Partialton, der Accord 6 einen solchen von der Schwingungszahl 120, welcher der 5te Partialton des höchsten der drei Klänge ist. Auch ist dieser gemeinsame Oberton nur bei den Mollaccorden die Wiederholung eines ursprünglichen Klangbestandtheiles in höherer Lage: beim Accord $es : g : c^1$ der Ton g^2, wie im Stammaccord, bei $g : c^1 : es^1$ dessen höhere Octave g^3. Demnach steht der Accord 4 dem Moll-Stammaccord am nächsten, ähnlich wie 5 dem Dur-Stammaccord.

Fassen wir an dem Beispiel des *C*-Dur- und des *C*-Mollaccords schließlich die sämmtlichen Bedingungen der directen und indirecten Klangverwandtschaft zusammen, so ergibt sich der folgende verwickelte Aufbau der Tonelemente in diesen Zusammenklängen, wobei hier überdies noch von den primären Differenztönen höherer Ordnung sowie von den secundären (der Obertöne) abstrahirt worden ist.

C-Dur:

$\underline{C_1}$	C_2	c	e	g	c^1	e^1	$\underline{g^1}$	h^1	$\underline{c^2}$	d^2	$\underline{e^2}$	$\underline{g^2}$	…	$\underline{h^2}$	…	$\underline{\underline{h^3}}$
1	2	4	5	6	8	10	12	15	16	18	20	24		30		60
			1	1												

C-Moll:

$\underline{As_3}$	As_2	Es_1	C	c	es	g	c^1	es^1	$\underline{g^1}$	b^1	c^2	d^2	es^2	$\underline{\underline{g^2}}$
1	2	3	5	10	12	15	20	24	30	36	40	45	48	60
					2	3								

Hiernach sind, wenn wir neben den in diesem Schema angegebenen phonischen auch noch die metrischen Verhältnisse in der Theilung der Tonstrecken beachten, die sich, wie wir früher (S. 76 f.) sahen, nicht minder in der unmittelbaren Empfindung geltend machen, die wesentlichen Unterschiede die folgenden: 1) Der Dur-Accord baut sich auf Grundklängen auf, die tiefere Octaven seines tiefsten Tones sind; der Grundklang des Mollaccords liegt außerhalb seiner eigenen Tonbestandtheile, daneben kommt aber in ihm ein mit dem Grundton übereinstimmender Unterton zur Geltung, daher sich die Molltonart auf zwei wechselnden Grundklängen aufbaut; 2) der Mollaccord hat einen übereinstimmenden Oberton, der eine Octavwiederholung seines höchsten Tones ist; der übereinstimmende Oberton des Duraccords stimmt mit keinem seiner eigenen Töne überein, liegt aber zumeist überhaupt jenseits des Gebiets hörbarer Obertöne; 3) der Durdreiklang wird durch die Terz

symmetrisch in zwei gleiche Empfindungsstrecken getheilt, bei dem Molldreiklang ist die tiefere Tonstrecke in der Empfindung kleiner, die höhere größer. Dieses letztere Moment gibt zusammen mit dem vorigen im Mollaccord dem Quintenton ein Uebergewicht, während im Dur noch bestimmter der Grundton durch die Uebereinstimmung mit dem Grundklang gehoben wird. Doch fehlt auch dem Mollaccord ein seinen Tönen gemeinsamer Grundklang nicht. Er ist nicht nur in dem Zusammenklang als Differenzton zu hören (die beiden Töne As_3 und As_2 sind namentlich bei hoher Accordlage vernehmbar), sondern er macht sich auch in der Tonfolge geltend, wo die Neigung besteht, an Stelle des Tones *a* das mit dem Grundklang übereinstimmende *as* zu verwenden. Dies ist vorzugsweise bei der absteigenden Tonfolge zu bemerken, in der sich die Töne in der Richtung nach dem Grundklang bewegen. Die *C*-Moll-Tonleiter lautet dann:

aufsteigend: *c d es f g a h* c^1 | **absteigend:** c^1 *h as g f es d c*

Zuweilen zieht der Uebergang in *as* auch noch die Umwandlung von *h* in *b* zur Ausgleichung der Intervalle nach sich. Jene Bedeutung des *as* tritt aber noch mehr hervor, wenn man unmittelbar auf das *c* der absteigenden Reihe die für den Grundklang charakteristischen Töne *C Es* As_1 folgen lässt. Bei der Durtonart ist ein solcher Abschluss in einem von der Tonica verschiedenen Klang unmöglich. Das Mollsystem enthält eben zwei verschiedene Grundklänge, einen, auf den die drei Töne des Accords zurückweisen, und der, dem Moll specifisch eigen, von den Tönen des Dreiklangs abweicht (*As*), und einen zweiten, der nur dem Quintintervall angehört und mit dem Grundklang des Duraccords übereinstimmt (*C*). Beide sind beim Zusammenklang als Differenztöne vorhanden. Hierin liegt der Grund, weshalb im Moll ein doppelter Abschluss des Tonstückes möglich ist, einer im Mollaccord, den erst das neuere Harmoniegefühl zur Geltung gebracht hat, und einer im Duraccord, den die ältere Anschauung für den allein zulässigen hielt. Die dem Molldreiklang oft zugeschriebene »Zwiespältigkeit der Stimmung« hat wohl in dieser Zweiheit des Grundklangs ihren psychologischen Grund, wozu dann noch die hohe Lage des herrschenden Tonelementes hinzukommt, die einen ausgeprägten Gegensatz bildet zu dem natürlichen Uebergewicht, das in allen Zusammenklängen der tiefste Tonbestandtheil ausübt. Dieses Uebergewicht des tiefsten Tones kann psychologisch auf zwei Momente zurückgeführt werden: ein directes und ein associatives. Direct sind die tiefen Töne durch die ihnen eigenen Gefühlselemente der Beruhigung und der Lösung ausgezeichnet (vgl. oben S. 320), während die hohen mehr erregend und spannend wirken, daher, wie A. von Oettingen mit Recht bemerkt hat, nach dieser Gefühlswirkung mit größerem Rechte das Moll die harte, und das Dur die weiche Tonart genannt werden könnte. Associativ bilden ferner die tiefen Grundtöne diejenigen Bestandtheile der Accorde, die jene Empfindung der Klangeinheit vermitteln, durch die der Zusammenklang zu einer mit größerer Klangfülle verbundenen Wiederholung eines Einzelklangs wird. Auf diesen Bedingungen beruht darum vor allem auch die Bedeutung des Grundtons der musikalischen Hauptaccorde, der Tonica, als desjenigen Tons, von dem die Melodieführung ausgeht, und zu dem sie zurückkehrt. Bei der Frage, welchen Bedingungen die Quinte dieses Tonicagrundtons ihre

Bedeutung als sogenannte Dominante der Tonart verdankt, lässt sich dagegen sowohl an ein metrisches wie an ein phonisches Princip denken. Nach dem ersteren ist die Quinte die reine Halbirung der Octave; insofern aber die Octave eine höhere Wiederholung des Grundtons ist, bezeichnet die Quinte diejenige Stelle der Tonleiter, wo sich die Empfindung am weitesten von dem Tonicaklang entfernt hat. In diesem Sinne wird man nicht bestreiten können, dass Hauptmanns Auffassung, der in ihr den reinen Gegensatz zur Tonica erblickte, abgesehen von der dialektischen Formulirung und der damit zusammenhängenden falschen Anwendung der Worte Gegensatz und Entzweiung, auf einer richtigen psychologischen Beobachtung beruht[1]. Als ein secundäres Moment kommt hinzu, dass die Quinte den Dreiklang symmetrisch theilt, mag sie End- oder Anfangspunkt des Accordes sein, also sowohl in dessen ursprünglicher Lage $\overset{4}{c}\underbrace{:}_{1}\overset{5}{e}\underbrace{:}_{1}\overset{6}{g}$ wie in der Umlagerung $\overset{6}{g}\underbrace{:}_{2}\overset{8}{c^1}\underbrace{:}_{2}\overset{10}{e^1}$. In phonischer Beziehung dagegen ist die Quinte der innerhalb der Octave verwandteste Ton, so dass sie als die nächste Ergänzung des Grundtons neben der Octave empfunden wird. Metrische und phonische Beziehungen verhalten sich also hier entgegengesetzt. Dies kommt auch darin zum Ausdruck, dass die beiden oben angegebenen metrisch gleichen Accorde, der Tonicadreiklang $c\,e\,g$ und der Quartsextaccord $g\,c^1\,e^1$, in phonischer Hinsicht äußerst verschieden sind, indem bei dem letzteren die übereinstimmenden Partialtöne höher liegen und bei den Nebenintervallen der Obertöne die Dissonanzen überwiegen. Darum eignet sich der erste dieser metrisch gleich gebauten Accorde am besten, der zweite am schlechtesten zum tonischen Abschluss. In vollem Gegensatz zur Dominante steht in beiden Beziehungen der nur um einen halben Ton von der Octave des Grundtons verschiedene sogenannte Leitton. Metrisch ist er, insofern die Octave als Wiederholung des Grundtons aufgefasst wird, der dem Grundton nächste Ton und kommt daher auch in seiner Function als Leitton, d. h. zur unmittelbaren Vorbereitung der Rückführung in die Tonica, vorzugsweise in seiner Rückversetzung in die unmittelbare Nähe der Tonica zur Anwendung. Phonisch ist er aber der innerhalb der Octave unverwandteste Ton, da die große Septime das dissonanteste aller Intervalle ist. Es ist einleuchtend, dass hier gerade die Verbindung metrischer Nähe und phonischen Gegensatzes dem Leitton seine eigenthümliche Bedeutung verliehen hat. Ein weiteres Eingehen auf die hier sich anschließenden Fragen muss jedoch der psychologischen Aesthetik überlassen bleiben.

---

[1] M. Hauptmann, Die Natur der Harmonik und Metrik. 1853, S. 25.

4. Theorie der intensiven Gehörsvorstellungen.

a. Tonabsorption und Tonverschmelzung als Factoren der Schallvorstellungen.

Tonabsorption und Tonverschmelzung haben wir als die wesentlichen Bedingungen kennen gelernt, die bei der gleichzeitigen Einwirkung einer Summe von Tönen die entstehende Empfindung in der mannigfaltigsten Weise modificiren können und ihr unter allen Umständen einen wesentlich andern Charakter verleihen, als ihn eine bloße Addition der einzelnen Töne oder die einfache Umwandlung des successiv Gehörten in einen simultanen Eindruck besitzen würde (S. 110 ff.). Von diesen beiden Factoren muss der eine, die Tonabsorption, aller Wahrscheinlichkeit nach als ein rein physiologischer, der andere, die Tonverschmelzung, dagegen als ein specifisch psychologischer, bez., wenn ihm gleichzeitig physiologische Bedingungen zu Grunde liegen sollten, jedenfalls als ein centraler betrachtet werden. Beide sind aber naturgemäß auf die Constitution der Schallvorstellungen von entscheidendem Einfluss. In der That lassen sich die beiden Hauptformen derselben, Geräuch und Klang, geradezu in dem Sinne einander gegenüberstellen, dass wir einen Schalleindruck im allgemeinen so lange ein Geräusch nennen, als in ihm der Vorgang der Tonabsorption vorwaltet, und der der Tonverschmelzung zurücktritt, während wir ihm um so mehr den Charakter des Klangs zuschreiben, je weniger sich die Tonabsorption im Verhältniss zur Tonverschmelzung geltend macht. Auf diese Weise bilden auch nach diesen ihren Entstehungsbedingungen Geräusche und Klänge eine stetige Folge von Erscheinungen, an deren einem Ende das reine Geräusch als eine Form steht, in der alle Tonelemente durch wechselseitige Absorption verschwunden sind, wogegen das andere Extrem durch die reinen, von jeder Tonabsorption freien, aber in hohem Grade dem Process der psychischen Verschmelzung unterworfenen musikalischen Klänge gebildet wird. Das entscheidende Kriterium für die Tonabsorption bildet hierbei das Verschwinden einer bestimmten Höhenempfindung der Töne; das Kriterium der Tonverschmelzung dagegen besteht in der Analysirbarkeit des Klangs in Einzeltöne und in der Unterordnung der sämmtlichen Elemente einer solchen Tonverbindung unter einen einzigen, den herrschenden Ton.

Unter dem Gesichtspunkt dieses doppelten Einflusses gliedern sich nun vor allem die Geräusche in jene Reihe mannigfacher Schallvorstellungen, wie sie uns oben (S. 381 ff.) an den mannigfachen Geräuschbildungen der menschlichen Sprachorgane in einer Anzahl typischer Formen entgegengetreten sind. Abgesehen von jenen möglicher Weise

auf alle Theile des Resonanzapparates einwirkenden momentanen Impulsen, bei denen eine Tonerregung überhaupt noch nicht entsteht, bilden sich bei der großen Mehrzahl der Geräusche mannigfach über einander greifende Toninterferenzen, bei denen die einzelnen Oscillationen in einer einzigen Gesammtbewegung aufgehen, die zwar, insofern sie auf einen gewissen Theil des Resonanzapparates beschränkt ist, noch eine allgemeine Tonlage besitzt, aber keine einzige distincte Tonhöhe mehr erkennen lässt. Man kann daher in diesem Falle von einer diffusen Tonverschmelzung in dem Sinne reden, als die Töne sich noch in jener allgemeinen Tonlage geltend machen. Zugleich sind jedoch durch die stattfindende Tonabsorption die einzelnen Tonbewegungen derart in der resultirenden Bewegung aufgegangen, dass die charakteristischen Eigenschaften der Tonverschmelzung, die Analysirbarkeit in Einzeltöne und die Aussonderung eines herrschenden Tones, hier vollständig verschwinden. Daraus erklärt es sich zugleich, dass diese reinen Geräusche trotz der äußerst zusammengesetzten Beschaffenheit der objectiven Schwingungen, auf denen sie beruhen, subjectiv den Charakter einfacher Empfindungen besitzen. Als solche sind sie nun aber auch keine eigentlichen Verschmelzungen mehr, sondern Absorptionsphänomene.

Dies ändert sich schon wesentlich bei denjenigen Geräuschen, die einzelne Töne entweder unmittelbar oder bei subjectiver Analyse des Schalls als mehr oder minder deutliche Bestandtheile erkennen lassen. Auch bei ihnen wirkt zwar die Tonabsorption immer noch mit, indem sie specifische Geräuschelemente der Verbindung bildet. Diese verschmelzen nun aber mit Klängen, die ihrerseits aus abgestuften Verschmelzungsreihen bestehen. In Folge dessen sondert sich im allgemeinen ein einzelner Ton, in der Regel der durch Intensität ausgezeichnete, als das herrschende Element aus, nach dem wir dann auch dem ganzen Geräusch eine bestimmtere Tonhöhe zutheilen. Doch ist durchweg, so lange der Schall den Charakter des Geräusches bewahrt, dieser herrschende Ton von viel geringerer Wirkung, wie er denn auch schon objectiv oft von relativ geringer Intensität oder durch gleichzeitig stattfindende Tonabsorption so geschwächt ist, dass neben ihm und mit ihm, sich bis zu einem gewissen Grade in die Herrschaft theilend, entweder die reinen Geräuschelemente, wie z. B. bei den rollenden, rasselnden und ähnlichen Geräuschen, hervortreten, oder einzelne Nebentöne die Deutlichkeit des dominirenden Tones beeinträchtigen: letzteres z. B. bei den Vocalen der menschlichen Sprechstimme, wo die den Vocalcharakter bildenden Formanten so stark wirken, dass wir über die absolute Tonhöhe der Sprechstimme, obgleich sie in jedem Augenblick eine fest bestimmte ist, doch zumeist ziemlich unsicher sind. Anderseits sind aber die Formanten

selbst an sich zwar distincte Tonbestandtheile, jedoch so fest mit einander und mit dem Ganzen des Schalls verschmolzen, dass sie der subjectiven Analyse nur schwer zugänglich sind. Außerdem wirkt ihre constante Höhenlage sehr wesentlich auf die Innigkeit dieser Verschmelzungen ein. Denn nach einem überall wiederkehrenden associativen Princip verbinden sich irgend welche Elemente zu um so unlösbareren Einheiten, je constanter diese Elemente sind. Wie die »constante Klangverwandtschaft« der hauptsächlichste Factor bei der unterscheidenden Charakterisirung der Geräusche ist, so unterstützt sie also bei den aus Klang- und eigentlichen Geräuschelementen bestehenden Eindrücken die allen diesen zusammengesetzten Geräuschen eigne feste Verschmelzung zu einheitlichen und darum oft immer noch scheinbar einfachen Schallqualitäten. Nach allem dem können wir die Geräusche als diffuse Verschmelzungen von Klangbestandtheilen und von eigentlichen Geräuschelementen definiren, wobei die letzteren zumeist selbst wieder durch den Vorgang der Tonabsorption aus Tonerregungen hervorgegangen sind und daher bereits eine gewisse allgemeine Tonlage erkennen lassen.

Zwei Merkmale sind es nun, die, gegenüber diesen Eigenschaften der Geräusche, die reinen Klangvorstellungen auszeichnen: erstens tritt bei ihnen das Moment der Tonabsorption vollständig zurück, — wo es sich noch geltend macht, da handelt es sich eben immer in gewissem Maße um Zwischenformen von Klang und Geräusch, — und zweitens sind die Klänge selbst durchaus Verbindungen distincter Töne, die sämmtlich mit einander und namentlich mit dem herrschenden Ton des Klangs oder der Klangmasse veränderlich sind. Wie beim Geräusch die constante Klangverwandtschaft die Verbindung zu unlösbaren Einheiten begünstigt, so bewirkt darum hier die variable Klangverwandtschaft zusammen mit der distincten Beschaffenheit der Tonelemente die relativ leichte Analysirbarkeit des Ganzen. Anderseits freilich wirkt dieser wiederum das entschiedene Hervortreten eines herrschenden Elementes entgegen, das mit der nämlichen distincten Beschaffenheit der Tonelemente zusammenhängt. Auf diese Weise lassen sich die Klang- gegenüber den Geräuschvorstellungen allgemein als distincte Tonverschmelzungen bezeichnen, in denen ein herrschender Ton dem Ganzen seinen Grundcharakter verleiht, während die übrigen Töne bloße modificirende Bestandtheile bilden, die je nach den besonderen Bedingungen der Klangbildung bald mehr bald weniger hinter dem herrschenden Ton zurücktreten, immer aber Bestandtheile bleiben, die entweder unmittelbar oder nach vorbereitender Einübung in ihrer Tonhöhe aufgefasst werden können. Wo sie absolut unerkennbar werden, da verschwindet auch ihr Einfluss auf die

Tonmasse. »Unbewusste« Elemente, die sich als solche an der Klangqualität betheiligen könnten, gibt es also nicht.

Bei diesen distincten Tonverschmelzungen unserer Klangvorstellungen bieten sich ferner stets zugleich charakteristische Unterschiede der Verschmelzungsgrade dar, die zwar auch bei andern Formen psychischer Verschmelzung, jedoch nirgends so augenfällig und zugleich in so deutlichen Abstufungen uns entgegentreten, wie gerade bei den Verschmelzungsproducten der musikalischen Klänge. Wir bezeichnen diese Unterschiede allgemein als die der vollkommenen und der unvollkommenen Verschmelzung. Diese Ausdrücke deuten schon an, dass es sich hier um keine Gegensätze, sondern überall nur um fließende Uebergänge handelt. Ein absolut Vollkommenes gibt es auch hier nicht. Selbst die vollkommenste Tonverschmelzung zeigt jene Analysirbarkeit in einzelne Tonelemente. Eine absolut vollkommene Verschmelzung würde daher das reine, von allen distincten Tonelementen freie Geräusch genannt werden können, wenn auf dasselbe der Begriff der Verschmelzung im psychologischen Sinne überhaupt anwendbar wäre, und dieser nicht vielmehr hier dem wesentlich physiologisch fundirten der Tonabsorption Platz machte (S. 416). Ebenso gibt es aber natürlich keine absolut unvollkommene Verschmelzung. Denn eine solche würde ja den Grenzfall bezeichnen, wo zusammenklingende Töne ebenso wenig modificirend auf einander einwirkten wie successive. Diesen Grenzfall gibt es wiederum nicht. Simultane Tonverbindungen sind immer zugleich Tonverschmelzungen irgend welchen Grades, ebenso wie umgekehrt auf successive Töne der Begriff der Tonverschmelzung selbstverständlich nicht angewandt werden kann.

Unter Berücksichtigung dieser in dem Wort schon ausgesprochenen relativen und fließenden Bedeutung der Bezeichnungen ist nun der Einzelklang der typische Repräsentant der vollkommenen, der Zusammenklang der der unvollkommenen Verschmelzungen. In dem Einzelklang ist der Grund- oder Hauptton der unbedingt herrschende, die Obertöne lassen sich zwar durch Klanganalyse unmittelbar als Töne erkennen. Dadurch charakterisirt sich die Verschmelzung eben als ein psychischer Vorgang. Aber in dem unmittelbaren Eindruck verlieren die Obertöne ihren selbständigen Toncharakter: sie werden zu bloß anhängenden, oder, wie wir es bei der Anwendung des Wortes »Klangfarbe« bildlich ausdrücken, zu »färbenden« Elementen des Hauptons. Wir haben allen Grund anzunehmen, dass dieser Unterschied direct nur durch die verschiedene Bewusstseinslage der im Klang enthaltenen Tonbestandtheile bedingt ist: der herrschende Ton steht im Blickpunkt der Aufmerksamkeit, die Obertöne sind dunklere Bewusstseinsinhalte. Ihre Verdunkelung ist aber ein Product zweier Ursachen: erstens ihrer meist geringen

objectiven Intensität, und zweitens der festen Associationen, welche Tonreihen von der den Elementen eines Einzelklangs entsprechenden Form durch fortwährende Wiederholung mit einander bilden. Sind diese Associationen auch wegen der Variabilität der Tonelemente verhältnissmäßig lösbarer als bei der constanten Klangverwandtschaft der Geräusche, so ist doch ihre relative Festigkeit bei der Bewegung von Klängen gleicher Klangfarbe immer noch groß genug, um einer Tonverbindung dieser Art selbst dann noch den Charakter der Klangeinheit zu verleihen, wenn ausnahmsweise die objective Intensität der Obertöne der des Grundtons gleich wird. (Vgl. oben S. 129.) Die so entstehenden Klänge bilden dann aber zugleich Uebergangsbildungen zwischen Einzelklang und Zusammenklang, und damit zwischen vollkommener und unvollkommener Tonverschmelzung.

Die Zusammenklänge, wie sie mannigfaltiger sind als die Einzelklänge, bieten nun auch vielgestaltigere Beispiele von Graden der Tonverschmelzung. Dabei bleibt jedoch diese in dem Sinne eine unvollkommene, als stets eine Mehrheit von Tönen unmittelbar wahrgenommen wird, abgesehen von den Fällen mangelnder oder durch die kurze Einwirkungsdauer beschränkter Aufmerksamkeit. Mit dieser Mannigfaltigkeit der Zusammenklänge hängt es zugleich zusammen, dass sie Beispiele der allerverschiedensten Grade unvollkommener Verschmelzung darbieten, von der deutlichen Sonderung aller Haupttöne an bis zu dem Grenzfall, wo das Ganze im wesentlichen einem Einzelklang mit stark ausgeprägten Obertönen gleichkommt, oder anderseits von der in allen ihren Theilen distincten Tonverschmelzung bis zu jenen mehr oder minder diffusen Tonverschmelzungen, die den Uebergang in das Geräusch bezeichnen. Hier steht dann zugleich die Art der Tonverschmelzung in nächster Beziehung zu jener Eigenschaft, die wir die Consonanz der Klänge nennen. In der That ist die distincte, von diffusen Geräuschelementen freie Verschmelzung der Einzelklänge eines Zusammenklangs, wie wir unten sehen werden, eines der wesentlichen Momente der sogenannten Consonanz, und eben deshalb bieten auch hinwiederum die consonanten Zusammenklänge Beispiele reiner, d. h. von Geräuschelementen freier Formen unvollkommener Tonverschmelzung. Selbstverständlich darf aber dieser Zusammenhang nicht dazu verführen, Tonverschmelzung und Consonanz einander gleichzusetzen, oder die Consonanz aus der Tonverschmelzung ableiten zu wollen. Vielmehr ist umgekehrt die Consonanz der Klänge die Bedingung für die Erzeugung reiner Tonverschmelzungen. Vollends würde schon der Umstand, dass die Consonanz im eigentlichen Sinne des Worts an den Zusammenklang, also an Formen unvollkommener Verschmelzung gebunden ist, abgesehen von allen den positiven

Thatsachen, die für den Begriff der Consonanz nach andern Richtungen hinweisen, es verbieten, etwa nach der Vollkommenheit der Verschmelzung den Grad der Consonanz bemessen zu wollen.

Als unvollkommene Verschmelzungen unterscheiden sich nun die Zusammenklänge von den vollkommenen Verschmelzungen der Einzelklänge durch zwei eng verbundene Merkmale: erstens durch das deutliche und unmittelbare Hervortreten einer Vielheit von Tönen, und zweitens durch die relativ geringe Vorherrschaft eines dominirenden Tones. Gleichwohl existirt ein solcher stets, auch in noch so complicirt gebauten Zusammenklängen. Da alle verwickelteren Zusammenklänge aber ihrerseits auf den Dreiklängen sich aufbauen, so sind es die herrschenden Elemente der consonanten Dreiklänge, die in der musikalischen Verwendung der Accorde eine entscheidende Rolle spielen. Darum ist es bezeichnend, dass das bei den verschiedensten Formen seelischer Gebilde für alle Verschmelzungsproducte geltende Princip des herrschenden Elementes, lange bevor es von der experimentellen Psychologie aufgestellt war, bei der Auffassung der musikalischen Zusammenklänge entdeckt wurde. So ist der Ton *c* der anerkannte Hauptton des Accords *ceg*: wir hören ihn unmittelbar als den den ganzen Accord beherrschenden. Umgekehrt ist, wie namentlich A. von Oettingen auf Grund der Accordumwandlungen und der Tonbewegung der Melodie gezeigt hat, in dem Accord *cesg* der höchste der drei Töne, *g*, der herrschende. Auch er wird wieder unmittelbar als solcher aus dem Dreiklang herausgehört. Unterstützt wird diese Aussonderung der herrschenden Töne hier wesentlich durch die oben erörterten Momente der directen und der indirecten Klangverwandtschaft. In dem Accord *ceg* wird *c* durch den tiefen Grundklang C_1 gehoben, auf dem sich der Zusammenklang aufbaut. Der Accord *cesg* findet in dem gemeinsamen Oberton g^2 seinen Abschluss. Das erste dieser Momente wirkt auch bei reinen, obertonfreien Klängen, das letztere versagt in diesem Falle. Dafür treten dann aber beidemal jene Motive der melodischen Tonbewegung, die im ersten Fall von unten nach oben, im zweiten von oben nach unten führen, für den Ausgangston als den dominirenden ein. Indem sich so je nach den besonderen Formen der Klangerzeugung die Bedingungen für den herrschenden Ton einigermaßen verschieden gestalten, dabei aber immer wieder auf Motive zurückführen, die mit den Verhältnissen der Consonanz zusammenhängen, bewährt es sich auch hier, dass Verschmelzung und Consonanz sich kreuzende Begriffe sind, wobei in diesem Fall die aus andern Ursachen entsprungenen Eigenschaften der Consonanz die besondere Form der Verschmelzung beeinflusst haben, nicht umgekehrt. Die Frage nach der Natur dieser Einflüsse führt demnach unmittelbar zu der weiteren Frage

nach dem Wesen der Consonanz selbst. Diese letztere ist aber, abgesehen von ihrer Bedeutung für das speciellere Gebiet der Psychologie der Musik, ihrem allgemeineren Inhalte nach schon deshalb eine psychologische Frage, weil Consonanz und Dissonanz, als Beispiele eigenartiger, mächtige Gefühlsmotive in sich tragender Vorstellungsverbindungen, auch abgesehen von allen Beziehungen zur Musik, ein hohes psychologisches Interesse darbieten.

b. Consonanz und Dissonanz.

Der Ausdruck »Consonanz« ist in dem heutigen, zunächst aus dem musikalischen Bedürfniss hervorgegangenen Sprachgebrauch kein völlig eindeutiger. Zunächst bezeichnet er, seiner unmittelbaren Wortbedeutung entsprechend, gewisse Eigenschaften des Zusammenklangs, und in dieser engeren und eigentlichen Bedeutung wird auch das Wort noch jetzt am häufigsten angewandt. Es wird dann aber auch auf Tonfolgen übertragen, die den consonant genannten Zusammenklängen in gewissen Haupteigenschaften gleichen. Der Ursprung dieser Uebertragung liegt offenbar darin, dass die Begriffe der Consonanz und Dissonanz zunächst lediglich nach den Gefühlswirkungen gebildet wurden, welche die so benannten Zusammenklänge hervorbringen, so dass es nahe liegt, sobald einer Tonfolge ähnliche Wirkungen zukommen, auch für sie die nämlichen Begriffe anzuwenden. Das musikalische Gehör entscheidet im allgemeinen lediglich nach dieser Gefühlswirkung, welche Zusammenklänge oder Tonfolgen consonant seien oder nicht; und auch der theoretische Musiker begnügt sich in der Regel damit, empirisch festzustellen, welche Tonverbindungen jenes Gefühl des »Zusammenstimmens« hervorzubringen pflegen. Sollte er alle Consonanzregeln in einen Ausdruck zusammenfassen, so bliebe ihm nur übrig zu sagen, dass Consonanz eben Consonanz sei. In der That ist die allgemeine Aufgabe, die hier vorliegt, keine musikalische, sondern durchaus eine psychologische. Auch die Psychologie wird aber dieselbe nicht anders lösen können als so, dass sie von jenem Gefühl der Befriedigung, des »Zusammenstimmens« ausgeht, welches thatsächlich zur Unterscheidung der consonanten Tonverbindungen geführt hat; und ihre Aufgabe wird zunächst darin bestehen, die Eigenschaften festzustellen, die den consonanten Tonverbindungen zukommen, und durch die sie sich von andern Vorstellungsverbindungen unterscheiden. Da wir es hier nur mit der Constitution der Gehörsvorstellungen zu thun haben, so wird uns dagegen die Frage nach der Natur der Gefühle, die zur Ausscheidung der consonanten Tonverbindungen geführt haben, und nach den Beziehungen dieser Gefühle zu den Eigenschaften der Klangvorstellungen, erst in der Lehre von den complexen Gefühlen (in

Abschn. IV) beschäftigen können. Um auch im Ausdruck diese Scheidung der Aufgaben anzudeuten, wollen wir mit den Namen der Consonanz und Dissonanz ausschließlich die Vorstellungseigenschaften der betreffenden Klanggebilde bezeichnen, die der Harmonie und Disharmonie aber für die entsprechenden Gefühle beibehalten, eine Unterscheidung, die sich vielleicht auf eine zwar nicht strenge festgehaltene, aber doch im allgemeinen auch im gewöhnlichen Sprachgebrauch vorwaltende Bedeutungsverschiedenheit dieser Benennungen berufen darf. Wie überall und namentlich auf ästhetischem Gebiet die Constitution der Vorstellungen und ihrer Verbindungen die Grundlage für die Deutung der begleitenden Gefühle abgeben muss, so ist das natürlich hier nicht minder der Fall. Wenn daher die Musik von dem Harmoniegefühl geleitet wurde, als sie die Bedingungen der Consonanz auffand, so hat die psychologische Untersuchung diesen Weg umzukehren: sie hat zuerst festzustellen, was Consonanz ihren Empfindungs- und Vorstellungselementen nach ist, um daraus dann weiterhin wo möglich die Entstehung der Harmoniegefühle zu begreifen.

Die Psychologen und die Musiktheoretiker theilen nun nicht selten mit andern Theoretikern die Vorliebe für solche Interpretationen der Erscheinungen, die wo möglich alles unter einen und denselben Gesichtspunkt bringen. Wie das Wort Consonanz ein einziges ist, so sollen auch die sämmtlichen unter sie fallenden Erscheinungen auf eine und dieselbe Grundthatsache zurückzuführen sein. Nun ist aber eine Klangverbindung an sich eine sehr zusammengesetzte Erscheinung, und die Harmoniegefühle, die durch Consonanzen entstehen, zeigen zwar eine gewisse allgemeine Uebereinstimmung: im einzelnen sind sie jedoch nicht minder mannigfaltig, wie es die Consonanzen und Dissonanzen je nach den besonderen Bedingungen ihrer Entstehung selbst sind. Anzunehmen, dass ein einziger überall gleichmäßig anzuwendender Begriff hier der Schlüssel aller Räthsel sei, hat daher von vornherein eine außerordentlich geringe Wahrscheinlichkeit für sich. Man kann sich darum solchen Theorien gegenüber dem Eindruck nicht entziehen, dass hier, wie so manchmal, das Wort der Feind des Begriffs sei. Weil nun einmal das Wort Consonanz dasselbe ist, so sollen sich auch ihre unendlich vielgestaltigen Erscheinungen samt und sonders auf eine einzige Ursache zurückführen lassen. Was wunder, wenn diese Ursache dann beim Lichte besehen auch nur ein Wort ist?

Im Gegensatze zu dieser, anderwärts vielleicht nützlichen, in der Psychologie, in der es überall auf die möglichst unveränderte Auffassung der Thatsachen ankommt, unter allen Umständen schädlichen unificirenden Tendenz werden wir daher gut thun, vielmehr von der Voraussetzung auszugehen, dass alle die Momente, die thatsächlich die consonanten von

den andern Klangverbindungen unterscheiden, muthmaßlich auch eine mitwirkende Bedeutung bei der Entstehung der Consonanz besitzen; und wo einzelne nur bei gewissen Consonanzen vorhanden sind, da werden wir annehmen dürfen, dass dies möglicher Weise mit den besonderen Eigenthümlichkeiten zusammenhänge, welche die Consonanz in verschiedenen Fällen darbietet, so dass daraus an und für sich noch nicht auf eine Bedeutungslosigkeit solcher variablerer Momente zurückgeschlossen werden darf. Unter diesem Gesichtspunkte, der im wesentlichen nur eine Anwendung der bekannten Regel ist, dass complexe Wirkungen auch complexe Ursachen zu haben pflegen, ergeben sich aus den oben erörterten Eigenschaften der Klangvorstellungen und mit Rücksicht zugleich auf die bereits bei den Gehörsempfindungen (in Cap. X) besprochenen Thatsachen die folgenden vier Momente als mehr oder minder constante Bedingungen der Consonanz: 1) die Zahl der primären Differenztöne verschiedener Ordnung, die bei den consonanten Zusammenklängen ein reciprokes Maß für jene Eigenschaft der Consonanz abgibt, die wir ihre Einfachheit nennen können; 2) das regelmäßige Verhältniss der Tonstrecken, die bei der Tonbewegung in consonanten Intervallen die Klänge durchmessen, eine Eigenschaft, die sich als die Regelmäßigkeit der Consonanz bezeichnen lässt; 3) die directe und die indirecte Klangverwandtschaft, von denen die erstere vornehmlich bei der Succession der Klänge, die letztere beim Zusammenklang wirksam wird: da sie diejenigen Bestandtheile der Consonanz bilden, auf denen zumeist der specifische Charakter der musikalischen Tonverbindungen beruht, so lassen sie sich als das Moment der Differenzirung der Consonanz nach den Tonelementen bezeichnen; 4) die Verschmelzung der Töne zu einer Klangeinheit, die sich, ähnlich wie die indirecte Klangverwandtschaft, zunächst nur bei der eigentlichen Consonanz, der des Zusammenklangs, geltend macht, und die sich andern Verschmelzungsvorgängen gegenüber durch die zwei Merkmale auszeichnet, dass sie eine distincte Tonverschmelzung in dem oben angegebenen Sinne ist, und dass zum herrschenden Element in einer gegebenen Klangverbindung derjenige Ton wird, der durch die drei vorangegangenen Bedingungen am stärksten associativ gehoben ist. Hierdurch steht zugleich die Tonverschmelzung mit den übrigen Factoren der Consonanz in der eigenthümlichen Wechselbeziehung, dass der für jede Verschmelzung wesentlichste Factor, der dominirende Ton, selbst erst die Wirkung der übrigen Consonanzbedingungen, namentlich der directen und indirecten Klangverwandtschaft, ist. In der Eigenschaft der consonanten Zusammenklänge als distincter Tonverschmelzungen liegt endlich noch ihr wesentlicher Unterschied von der Dissonanz begründet, deren Wesen eben darin besteht, dass bei ihr diffuse Verschmelzungen

wirksam werden, in Folge deren sie zugleich eine Uebergangsstufe bildet zwischen Klang und Geräusch.

Jedes dieser vier Momente bildet einen Factor der Erscheinungen, die wir zusammenfassend mit dem Namen der Consonanz belegen. Indem aber bald dieser bald jener Factor überwiegt oder zurücktritt und unter Umständen auch ganz fehlen kann, scheidet sich die Consonanz selbst in die Fülle ihrer einzelnen Erscheinungsformen. In dieser Beziehung dürften für die psychologische Seite der letzteren hauptsächlich die folgenden Gesichtspunkte maßgebend sein.

1. Die primären Differenztöne haben wir als diejenigen Elemente kennen gelernt, die unter allen Umständen bei dem Zusammenklang zweier Töne bestimmte Intervalle als die von Nebentönen freiesten, also die Zusammenklänge selbst als die einfachsten erscheinen lassen (S. 100 f.). In erster Linie steht hier die Octave als das Intervall, bei dem specifische Differenztöne überhaupt hinwegfallen. Die Octave ist also bei einfachen Klängen der einzige absolute Zweiklang, derjenige, in dem neben den Haupttönen selbst keine weiteren, resultirenden Töne enthalten sind. Das nächsteinfache Intervall ist dann die Quinte, die noch den ersten und zweiten Differenzton erkennen lässt, während alle höheren verschwinden bez. mit den andern Tönen zusammenfallen. Ihr folgen die weiteren Intervalle in der früher (S. 397) angegebenen Reihenfolge. Die Fig. 236 veranschaulicht diese Verhältnisse. Auf der ausgezogenen Horizontallinie sind die Hauptintervalle innerhalb der Octave [kl. Terz, gr. Terz, Quarte, verm. Quinte (5 : 7), Quinte, kl. Sext, gr. Sext, verm. Septime (4 : 7), kl. Septime] aufgetragen, dazu in verticaler Richtung die Schwingungszahlen der Differenztöne in Bruchtheilen des tieferen der beiden Primärtöne. Die Durchmesser, die das aus diesen beiden Linien gebildete Rechteck durchschneiden, entsprechen den Differenztönen vom ersten bis fünften (D_1 bis D_5). Wo zwei dieser Durchmesser sich schneiden, da fallen die betreffenden Differenztöne zusammen; fällt ein Durchmesser auf die untere Nulllinie, so bezeichnet dies ein Verschwinden des Differenztons. So ist also z. B. für die Quinte $D_2 = D_1$, ebenso $D_4 = D_1$, und $D_3 = 0$; für die große Terz ist $D_1 = 1/4$, $D_2 = 3/4$, $D_3 = 1/2$, und D_4 fällt mit D_1 zusammen, u. s. w.[1].

Ergibt sich hieraus, dass consonante Intervalle allgemein solche sind, die sich den zwischenliegenden gegenüber durch Einfachheit des Klangs auszeichnen, so ersieht man nun zugleich aus der angegebenen Reihenfolge, dass diese Eigenschaft, so wichtig sie ohne Zweifel ist, doch nicht wohl die einzige sein kann, die das Harmoniegefühl und dem-

[1] F. Krueger, IV. Congrès internat. de Psychologie, 1901, p. 456.

nach auch die Stufenfolge der Consonanzen bestimmt. Auf der andern Seite ist aber die Stellung, die nach diesem Princip der Einfachheit die Octave und mit einer gewissen Annäherung selbst die Quinte einnimmt, von vornherein als ein wichtiges, wahrscheinlich auch für die übrigen Consonanzbedingungen maßgebendes Moment anzuerkennen. So sehr nämlich dieses Merkmal der Einfachheit an und für sich an die Zusammenklänge gebunden ist, so sind doch gerade diese extremen Fälle geeignet, auch auf die Tonfolge einzuwirken. Hat die Ausbildung des musikalischen Gehörs beim menschlichen Gesang begonnen, und wurde der Gesang sicherlich von Anfang an als ein gemeinsamer in Arbeits- und Ritualgesängen geübt, so hat es in diesem Sinne eine absolut homophone

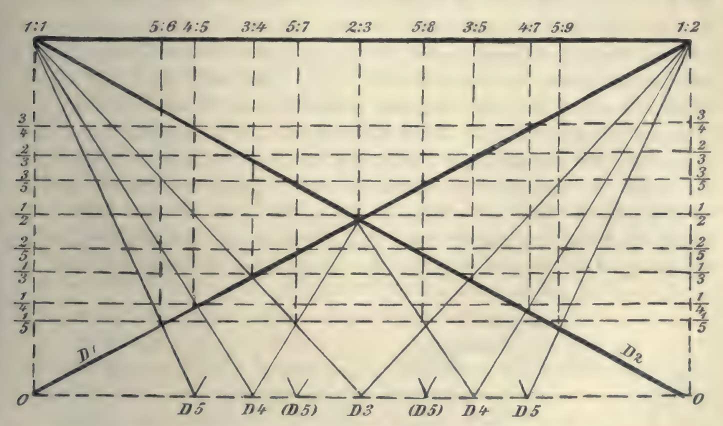


Fig. 236. Schema der primären Differenztöne bei den Intervallen innerhalb der Octave, nach F. KRUEGER.

Musik wohl niemals gegeben. Je nach individueller Beschaffenheit wurde die eine Stimme von der andern in höherer oder tieferer Tonlage begleitet. Bei dieser ursprünglichen Form der Polyphonie musste aber vor allem die Octave neben dem Einklang als zusammenstimmend empfunden werden, worauf sich dann wohl bald auch die Quinte als das unter den übrigen einfachste Intervall anschloss. Für die Ausbildung dieser Hauptintervalle hat also aller Wahrscheinlichkeit nach dieses Moment der Einfachheit die allgemeinere Bedeutung, dass es der Tonbewegung die Grenzen gab, zwischen denen sich die weiteren Intervalle ausbildeten, die zur gesetzmäßig aufgebauten diatonischen Tonleiter geführt haben.

2. Nachdem erst jene primäre Gliederung gegeben ist, führt nun aber

die Tonbewegung selbst durch die Eigenschaft des Gehörs, Strecken der Tonlinie innerhalb mäßiger Grenzen zu vergleichen und symmetrisch zu theilen, von selbst zu einem weiteren Motiv der Intervallbildung. Wir theilen eine innerhalb einer Octave gelegene Tonstrecke ohne Schwierigkeit in zwei Hälften, wobei zugleich die Constanz der absoluten Unterschiedsempfindlichkeit im Tongebiet in dem Sinne sich geltend macht, dass die beiden so entstandenen Tonstrecken auch objectiv gleichen absoluten Differenzen der Schwingungszahlen entsprechen (S. 85). Da eine solche Theilung von uns auch an außerhalb der musikalischen Intervalle liegenden Tonstrecken geübt werden kann, so bewährt sich hierin dieses metrische Princip als ein selbständiges, das natürlich in der Wirklichkeit überall mit den andern, phonischen Momenten zusammenwirken wird, und das namentlich in dem einen Punkte an diese gebunden ist, dass die Hauptgrenzen der so vorgenommenen Gliederungen in den Eigenschaften der zusammenklingenden Töne vorgebildet sein müssen. Dies trifft aber, wie oben bemerkt, für die Octave, dieses Grundmaß aller weiteren Tongliederungen, ohne weiteres zu. Ist sie gegeben, so bildet dann nach dem angegebenen Princip der Messung der Empfindungsstrecken die Quinte die untere, die Quarte die obere Hälfte der Octave, und die Quinte zerfällt ihrerseits wieder in die große Terz als ihre untere, die kleine als ihre obere Hälfte. Dies sind die Intervalle der unmittelbaren Theilung der Octave (Fig. 237 *A*). Unter ihnen sind die Intervalle der

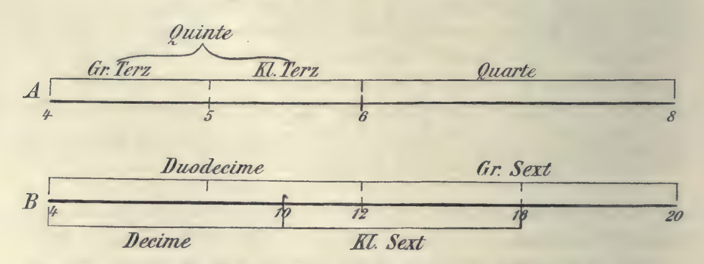


Fig. 237. Schema für die Zweitheilung der Tonstrecken. *A* Theilung der Octave. *B* Theilungen über die Octave hinausgreifender Tonstrecken.

ersten Theilung, Quinte und Quarte, zugleich nach der musikalischen Auffassung die am meisten, die Intervalle der zweiten Theilung, die Terzen, die ihnen zunächst stehenden consonanten. Sind diese Hauptintervalle gegeben, so werden nun für ein geübtes Gehör eventuell auch über den Umfang der Octave hinaus weitere Theilungen ausführbar. So zerfällt die Doppeloctave in Decime und kleine Sext (4:10 und 10:16), die Doppel-

octave + Terz in Duodecime und große Sext (4:12 und 12:20, Fig. 237 *B*). Dies sind die Intervalle der dritten, der über die Octave hinausgreifenden Theilung, deren untere Theilungsglieder metrisch wie phonisch als Octavenversetzungen der Quinte (Duodecime) und der großen Terz (Decime) erscheinen, worauf dann die beiden Sexten analoge Ergänzungen derselben bilden, wie dort die Quarte und kleine Terz, so dass demnach die große Sext das der Quart, die kleine Sext das der kleinen Terz correspondirende Intervall ist. Damit dürften aber auch die äußersten Grenzen solcher dem Gehör nach möglichen Zweitheilungen erreicht sein. Außerdem werden diese selbstverständlich bei den tiefsten und höchsten Tönen durch die hier eintretende geringere Empfindlichkeit für Höhenunterschiede beschränkt und schließlich ganz aufgehoben (Cap. X, S. 79).

3. Die beiden bis dahin erörterten Momente der Consonanz können insofern quantitative genannt werden, als die in dem Verschwinden der Differenztöne begründete Einfachheit des Klangs inmitten der Vielheit gleichzeitiger Tonempfindungen ein analoges Maß beim Zusammenklang der Töne abgibt, wie die Einfachheit der Gliederung der Tonstrecken ein solches bei der Succession der Klänge ist. Dem gegenüber sind nun die beiden weiteren Momente in dem Sinne rein qualitative, als bei ihnen durchaus nur die Tonbeschaffenheit der Klangelemente in Frage kommt. Unter diesen qualitativen Bedingungen steht wieder die Klangverwandtschaft in erster Linie. In ihren beiden oben eingehender erörterten Formen umfasst sie Klangfolge und Zusammenklang in der Weise, dass für die Klangfolge die directe, für den Zusammenklang die indirecte Verwandtschaft das zunächst hervortretende Moment ist, während doch zugleich, gewissermaßen als Hülfskraft, bei der Klangfolge auch die indirecte, bei dem Zusammenklang die directe Verwandtschaft mitwirken kann. Eine Klangfolge wie $cegc^1$ ordnet sich, wenn die einzelnen Klänge die nächsten Obertöne als deutlich klangfärbende Elemente mit sich führen, ohne weiteres in die drei Stufen abnehmender Verwandtschaft cc^1, cg und ce (S. 402). In der Ordnung $cegc^1$ erscheinen daher die vier Klänge als eine Bewegung, die zuerst zu einem relativ größten Unterschied übergeht, um dann durch eine Zwischenstufe zur größten Uebereinstimmung zurückzukehren. Sind die Klänge ganz und gar obertonfrei, so tritt dieses Moment der directen Verwandtschaft zurück, was sich denn auch in dem eigenartigen Charakter der Klangfolgen reiner Töne zu erkennen gibt. Dass aber gleichwohl auch hier jener Eindruck, den wir vermöge der oben erwähnten Uebertragung vom Zusammenklang auf die Klangfolge eine Consonanz der letzteren nennen, keineswegs fehlt, erklärt sich zunächst daraus, dass nun um so reiner und deutlicher die metrische Ordnung der Tonstrecken in

unserer Empfindung hervortritt. Denn je größer die Klangfülle der Klänge ist, um so mehr wird diese Ordnung dadurch getrübt, dass sich jetzt in den Verhältnissen der Obertöne eine Menge von Nebenintervallen geltend macht, daher auch experimentell an obertonfreien Klängen thatsächlich die Theilungen von Tonstrecken am sichersten gelingen. Zu diesem ersten kommt aber noch ein zweites Moment. Kann auch bei obertonfreien Klängen von einer directen Verwandtschaft nicht die Rede sein, so fehlt ihnen doch die indirecte nicht. In einer Klangfolge wie $cegc^1$ sind die einzelnen Töne sämmtlich simultan in dem Grundklang C_1, und mehrere von ihnen sind außerdem in dem noch näher liegenden *C* als Obertöne enthalten. Eine associative Beziehung jener einzeln angegebenen Töne zu den Tönen der Obertonreihe liegt daher um so näher, als sich uns hier, wie die Vergleichung von Klangfolgen, Zusammenklängen und Einzelklängen lehrt, überall gewisse Verwandtschaftsbeziehungen aufdrängen, indem wir z. B. die Klänge der durch geradzahlige Theiltöne ausgezeichneten musikalischen Instrumente dem Quart-, der durch ungeradzahlige ausgezeichneten dem Sextintervall unmittelbar als verwandt auffassen, mögen nun jene Intervalle successiv oder simultan angegeben werden (S. 404). Selbstverständlich handelt es sich aber hier nirgends um ein wirkliches Erkennen von Theiltönen oder um ein bewusstes Erinnern an ehemals gleichzeitig gehörte Tonbestandtheile; sondern, wie wir die Klangfarbe nur als ein Ganzes wahrnehmen, so werden auch diese durch übereinstimmende Elemente begründeten Verwandtschaften bestimmter Klänge, Klangfarben und Klangfolgen lediglich in ihrem Totaleffect und in ihrer Wirkung auf das Harmoniegefühl aufgefasst[1].

Kommt die directe Klangverwandtschaft bei der Klangfolge unmittelbar, die indirecte nur in associativen Beziehungen zur Geltung, die die Klangfolge mit dem Einzelklang und seinen Elementen verbinden, so bekundet nun dem gegenüber der Zusammenklang die schon in seinem Namen ausgedrückte Bedeutung vor allem darin, dass bei ihm die Beziehung zum Einzelklang zu einer unmittelbar erlebten wird. Denn eben mit Rücksicht auf die indirecte Klangverw andtschaft, die die Bestandtheile eines con

[1] Wenn die hier erwähnten associativen Beziehungen von manchen Psychologen mit dem Hinweis darauf abgethan werden, dass wir von einer solchen »Erinnerung« nichts wüssten, und dass zwar möglicher Weise unmittelbar vorangegangene auf kurze Zeit nachfolgende Gehörseindrücke durch Erinnerung wirken könnten, nicht aber solche, die einer entfernteren Zeit angehörten, so ergibt sich aus dem oben Gesagten ohne weiteres das dieser Kritik zu Grunde liegende Missverständniss. Es beruht darauf, dass erstens das ganze große und wichtige Gebiet der dunkler bewussten psychischen Vorgänge ignorirt, und dass zweitens die elementare Natur der Associationsprocesse völlig verkannt wird. Association und deutlich bewusstes Erinnern fallen so auf dem Standpunkte jener Reflexionspsychologie zusammen, indess zugleich jede Association nur fertige Vorstellungen verbinden soll, und alle Beziehungen, in welche die Vorstellungen zu einander treten, fälschlich auf das Schema logischer Vergleichung zurückgeführt werden.

sonanten Zusammenklangs vereinigt, erscheint dieser als die Verbindung einer Mehrheit von Tönen, in der die wesentlichen Eigenschaften des Einzelklangs in größerer Tonstärke und Tonfülle wiederkehren. Nur darin ist in gewissem Sinne eine Umkehrung eingetreten, dass die im Einzelklang schwächeren Empfindungselemente hier die stärkeren, und die in jenem stärkeren hier die schwächeren geworden sind. Der Grundton, im Einzelklang der herrschende, ist im Zusammenklang zu einem bloß modificirenden Tonelement geworden, das aber darin seinen specifischen Einfluss bewahrt, dass es die Lage des herrschenden Tones bestimmt und seine Wirkung erhöht. Diese Wirkung des Grundklangs, auf dem sich im consonanten Zusammenklang das ganze Tongebilde aufbaut, complicirt sich dann sofort mit einer andern, nicht minder unmittelbaren: diese besteht in der größeren Macht, die einzelne Obertöne durch die in Folge ihrer Coincidenz eintretende Verstärkung erlangen. Naturgemäß tritt dieser Einfluss um so mehr hervor, je mehr derjenige eines deutlich ausgeprägten und allen Klangbestandtheilen gemeinsamen Grundklangs verschwindet. Indem die objectiven akustischen Gesetze mit den subjectiven Verhältnissen der Empfindung hier wiederum in der Weise zusammentreffen, dass diese beiden Momente sich gleichzeitig ausschließen und ergänzen, ergibt sich jene oben geschilderte Tonbewegung in zwei entgegengesetzten Richtungen, aufsteigend von einem übereinstimmenden Grundton, absteigend von einem übereinstimmenden Oberton, wie sie in den Gegensätzen des Dur und Moll verwirklicht ist. Beide Tonbewegungen stehen sich jedoch nicht bloß in ihrer Richtung gegenüber, sondern auch hinsichtlich der Bedingungen, in denen sich jedesmal Klangfolge und Zusammenklang unterscheiden und in gewissem Sinn ergänzen. Ist bei dem Zusammenklang die von dem Grundton ausgehende Tonbewegung die machtvollere, weil sie, abgesehen von der specifischen Gefühlswirkung der tieferen Töne, unmittelbar als eine verstärkte Klangfülle empfunden wird, so hat in der Klangfolge die absteigende Tonbewegung ein Uebergewicht, weil die Klangverwandtschaft, auf der sie beruht, unmittelbar nur in der Klangfolge zur Geltung kommt. Hieraus erklärt es sich wohl, dass in der homophonen Musik der Volksgesänge aller Nationen und in der von den Griechen vor andern bevorzugten dorischen Tonart eine unserem Moll analoge Tonbewegung die bevorzugte ist[1]; und wahrscheinlich ist es daher erst die Ausbildung der polyphonen Musik, durch die sich das Dur-Geschlecht seine Vorherrschaft

---

[1] Ueber die Tonsysteme der Griechen vgl. HELMHOLTZ, Tonempfindungen[4], S. 441 ff. R. WESTPHAL, Griechische Harmonik und Melopoeie[3], 1886, bes. S. 154 ff. Ueber Volksmelodien: WOLLASCHEK, Primitive Music. 1893. JAMES MOONEY, 14. Report of the Bureau of Ethnology, Smithson. Instit. 1892—93, p. 1006 ff. (Gesänge der Sioux.)

in der Musik der neueren Zeiten errungen hat. Uebrigens gewinnt auch die absteigende Tonfolge von dem gemeinsamen Oberton aus in dem Gebiet der consonanten Zusammenklänge ihre eigenartige Bedeutung. Denn wiederum treten hier Klangfolge und Zusammenklang in das Verhältniss, dass die associativen Beziehungen, in welche die auf einander folgenden Klänge durch gemeinsame Tonelemente treten, bei der Umwandlung in ein simultanes Gebilde einer unmittelbaren Klangwirkung Platz machen. Der Unterschied der associativen Wirkungen auf die Klangfolge bei der directen und der indirecten Verwandtschaft besteht also nur darin, dass es sich bei der ersten um eine Association unmittelbar auf einander folgender Klänge, bei der letzteren um eine solche der wahrgenommenen Tonfolgen mit geläufigen Klangfarben handelt. Dagegen ist die Wirkung der Tonelemente im Zusammenklang, von der verschiedenen Tonlage derselben abgesehen, eine wesentlich übereinstimmende: wie im ersten Fall die durch Coincidenz verstärkten Differenztöne, so machen im zweiten die zusammenfallenden Obertöne denjenigen Ton der Klangverbindung zum herrschenden, dessen Octavwiederholungen sie sind. Beidemal ist die Wirkung auch in dem Sinne eine übereinstimmende, dass diese Elemente unmittelbar nur durch die eigenthümliche Färbung wirken, die sie dem ganzen Vorstellungsgebilde verleihen, während sie selbstverständlich immer erst durch eine nachträgliche wissenschaftliche Analyse als specifische und charakterisirende Elemente der Klangfolgen wie der Zusammenklänge erkannt werden[1].

4. Die consonanten Zusammenklänge gewinnen schließlich einen Theil ihrer Eigenart durch die *specifische Form intensiver Tonverschmelzung*, die sie auszeichnet. Nicht die Thatsache, dass sie überhaupt Verschmelzungen sind, charakterisirt aber die consonanten Zusammenklänge. Denn das sind die Einzelklänge und die Geräusche auch.

---

[1] Von einigen Psychologen ist speciell die Wirkung der coincidirenden Obertöne in Zusammenklängen so ausgelegt worden, als werde dabei ein unmittelbares Erkennen der übereinstimmenden Qualität dieser Obertöne angenommen. Nun weiß ich nicht, ob irgend jemand die absurde Meinung, dass die coincidirenden Obertöne gleichzeitig zu einer Klangeinheit verschmelzen, und daneben als distincte Elemente der Klänge, von denen sie herrühren, unterschieden würden, geäußert hat; jedenfalls ist aber diese Ansicht nicht die meinige. Selbstverständlich beruht die thatsächliche Bedeutung der coincidirenden Obertöne lediglich darauf, dass sie stärkere Klangbestandtheile sind als andere Obertöne. Ihre Wirkung im Zusammenklang ist darum auch eine wesentlich andere als die in der Klangfolge, wo wir zwar wiederum nicht die übereinstimmenden Obertöne als solche wahrnehmen, wohl aber den Eindruck der Verwandtschaft der auf einander folgenden Klänge unmittelbar empfangen. Beidemal unterscheiden sich eben die Wirkungen genau so wie sich die sogenannte Consonanz der Klangfolge von der des Zusammenklangs unterscheidet. Die Uebertragung des gleichen Namens auf Erscheinungen, die neben gewissen Beziehungen immerhin wesentliche Verschiedenheiten bieten, darf doch nicht dazu verführen, die mit diesen letzteren verbundene Aenderung des Consonanzbegriffs selbst zu übersehen, eine Vermengung thatsächlich verschiedener Erscheinungen, die bei dem erwähnten Einwand wiederum obzuwalten scheint.

Noch weniger stehen Consonanz und Grad der Verschmelzung in irgend einer Beziehung zu einander. Denn dann würden wiederum die Einzelklänge und viele Geräusche die vollkommensten Consonanzen sein, und noch weniger würde der Begriff der Consonanz auf gewisse Klangfolgen in einem freilich etwas veränderten Sinne übertragen werden können, bei denen wenigstens von einer intensiven Verschmelzung überhaupt nicht die Rede sein kann[1]. Sind nun aber auch Consonanz und Verschmelzung toto genere verschiedene Begriffe, so stehen sie doch insofern in Beziehung zu einander, als die Art der Verschmelzung bei den consonanten Zusammenklängen eine eigenthümliche, sowohl von der des Einzelklangs wie von der des Geräusches abweichende ist. Bedingung für den Eindruck der eigentlichen Consonanz ist nämlich erstens die relativ geringe Festigkeit der Verschmelzung, daher wir nicht bloß den Einzelklang nicht zu den Consonanzen rechnen, sondern selbst das Intervall der Octave auf die Grenze zwischen eigentlicher Consonanz und Einklang verweisen. Ein zweites, der Consonanz mit dem Einzelklang gemeinsames, aber es von dem Geräusch unterscheidendes Merkmal besteht sodann darin, dass sie eine distincte Tonverschmelzung in dem oben (S. 417) definirten Sinne ist, von dem Einklang und Einzelklang wiederum dadurch abweichend, dass Elemente, die im Einzelklang zwar über der Bewusstseinsschwelle liegen, jedoch, weil sie dunkler bewusst sind, nicht als Einzeltöne aufgefasst werden, in den Haupttönen des consonanten Zusammenklangs zu gesonderter Auffassung gelangen. Dazu kommt endlich als drittes Merkmal, dass jeder consonante Zusammenklang, ebenso wie der Einzelklang, ein einziges herrschendes Tonelement enthält, dass aber dieser dominirende Ton nicht ein für allemal durch die physischen Bedingungen der Klangerzeugung und Klangempfindung als der Grund- oder Hauptton des Klangs fest bestimmt ist, sondern dass er nach den Bedingungen der Consonanz wechselt, so dass z. B., wie oben bemerkt, in dem Dreiklang *ceg* der Ton *c*, in dem andern *cesg* dagegen *g* der dominirende Ton ist. Die Eigenschaften der Tonverschmelzung im Zusammenklang werden also durch die Verhältnisse der Consonanz bestimmt, nicht umgekehrt. In diesem Sinne ist daher nicht die Verschmelzung als solche, wohl aber die specifische Form der Verschmelzung das Secundäre, die Consonanz in ihren oben angeführten metrischen und phonischen Eigenschaften das Primäre.

---

[1] Insofern die Klangfolge ein zeitliches Vorstellungsgebilde ist, liegt ihr allerdings ein Vorgang zu Grunde, den man, wie wir in Cap. XV sehen werden, zu den »extensiven Verschmelzungen« rechnen kann. Dieser Vorgang hat jedoch mit jener Uebertragung des Consonanzbegriffs von dem Zusammenklang auf die Klangfolge, die hier gemeint ist, durchaus nichts zu thun.

So liegt denn auch lediglich in der Abwesenheit dieser metrischen und phonischen Eigenschaften der Gegensatz der Consonanz, die Dissonanz, begründet. Doch wie die Consonanz in jedem besonderen Fall der Verschmelzung ihren eigenartigen Charakter verleiht, so ist das auch bei der Dissonanz der Fall. Zugleich bildet die Form der Verschmelzung um so mehr ein charakteristisches Merkmal der Dissonanz, als bei der negativen Beschaffenheit dieses Begriffs das Gebiet der Dissonanzen nicht durch bestimmte metrische und phonische Principien beschränkt ist. Darum ist die diffuse Tonverschmelzung diejenige Eigenschaft, die am durchgreifendsten die Dissonanz gegenüber der Consonanz begrenzt. Dies ist aber das Merkmal, das auch das Geräusch gegenüber dem Klang kennzeichnet, und so sind denn die Dissonanzen in der That Uebergangsglieder zwischen Klang und Geräusch. Die diffuse Natur der Dissonanz entspringt nun einerseits physiologisch aus dem Phänomen der Tonabsorption (S. 415), anderseits psychologisch aus der die distincte Tonunterscheidung aufhebenden Zumischung mannigfach interferirender Differenztöne. Dazu bilden die Schwebungen häufige, namentlich in dem Stadium der Tonstöße den Eindruck verstärkende, aber keineswegs wesentliche Bestandtheile. Denn es gibt ebensowohl Dissonanzen ohne Schwebungen, wie umgekehrt Schwebungen in consonanten Zusammenklängen. Insofern die Dissonanz in Accordfolgen vielfach als Bestandtheil eines zusammengesetzten Tongebildes vorkommt, das von einer Consonanz zu einer andern überleitet, wird sie nach dem treffenden Ausdruck A. von Oettingens zur Bissonanz. Ein Zusammenklang, der für sich allein gehört dissonant ist, wird innerhalb der Klangfolge zu einer Verbindung, die die Bestandtheile zweier Consonanzen in sich vereinigt und eben dadurch, in der sogenannten »Auflösung der Dissonanz«, einen für unser Harmoniegefühl befriedigenden Uebergang vermittelt. So ist der Zusammenklang *c e g h* für sich allein gehört eine scharfe Dissonanz; in der Accordfolge *c e g c*, *c e g h*, *c f a*, *c e g* wird er aber zur Bissonanz, indem er den anfänglichen C-Duraccord zuerst zu seiner Umlagerung nach *f* und dann von da zum Stammaccord zurückführt. Unter demselben Gesichtspunkte der Einordnung in die Klangfolge kann nun aber auch der Begriff der Dissonanz, ähnlich wie der der Consonanz, auf die Folge der Einzelklänge übertragen werden. Einen Einzelklang, der sich einer Klangfolge in consonanten Tonschritten nicht einfügt, nennen wir dissonant. Gerade diese Uebertragungen zeigen deutlich, dass Consonanz und Dissonanz an sich auf einem Zusammenfluss mannigfaltiger Eigenschaften beruhen. Dabei entscheidet schließlich nicht ein einzelnes Merkmal, sondern die unter dem Einfluss aller jener Eigenschaften entstehende Wirkung auf das Harmoniegefühl, ob wir einen bestimmten Zusammenklang

oder eine bestimmte Klangfolge als consonant anerkennen oder nicht. Eben darum aber, weil es sich dabei immer um einen Zusammenfluss von Eigenschaften handelt, brauchen nicht in jedem einzelnen Fall von Consonanz oder von Dissonanz alle gleichzeitig verwirklicht zu sein. Vielmehr ist es gerade der Wechsel der Eigenschaften, der der Consonanz wie der Dissonanz ihre mannigfachen Formen und Färbungen in verschiedenen Fällen verleiht.

In der Geschichte der Theorien über Consonanz und Dissonanz spiegelt sich durchaus die Entwicklung der allgemeinen Anschauungen über die Natur der Tonempfindungen. Wie man die Verhältnisse der Töne als unmittelbar gegeben ansah durch die regelmäßigen Verhältnisse der Schwingungszahlen, so wurde seit den Zeiten der Musiktheoretiker des Alterthums mit dem Begriff der Tonharmonie die Idee der mathematischen Regelmäßigkeit so eng verknüpft, dass eine unmittelbare Auffassung dieser Regelmäßigkeit für selbstverständlich galt. In neueren Zeiten gewann dann diese Theorie durch die Verbindung, in die sie Leibniz mit seiner Lehre von den dunkel bewussten Perceptionen brachte, ein neues Gepräge[1]. Ein Zählen der Schwingungen, bei dem wir uns der Zähloperation selbst nicht bewusst werden, das uns aber gleichwohl die Symmetrie und Regelmäßigkeit der Zahlverhältnisse unmittelbar empfinden lasse, — ein solches in den dunkeln Tiefen des Seelenlebens sich abspielende Geschehen schien, so hypothetisch diese Annahme bleiben mochte, immerhin die Schwierigkeiten zu beseitigen, die der naiven Auffassung der alten Harmoniker von Seiten der psychologischen Beobachtung in den Weg traten. Auf der Grundlage dieser Leibniz'schen Gedanken hat dann Euler diese mathematisch-metrische Theorie in der bis in die neuere Zeit maßgebenden Form entwickelt. Klänge, deren Schwingungszahlen in dem Verhältniss einfacher ganzer Zahlen stehen, erscheinen uns nach ihm deshalb harmonisch, weil, wie in der Baukunst, die Einfachheit des Verhältnisses unmittelbar gefällt. Die Auffassung einer solchen Einfachheit setzt allerdings ein Messen oder Zählen voraus. Dieses Messen und Zählen selbst erfolgt aber nur dunkel bewusst: erst sein Ergebniss, die Symmetrie der Raumformen, die Consonanz der Intervalle, wird zur klaren Vorstellung[2]. Schon im 18. Jahrhundert traten jedoch, auf der Grundlage der kurz zuvor gemachten Entdeckung der Differenztöne, Versuche hervor, die Eigenschaften der Consonanz auf gewisse qualitative, unmittelbar in der Empfindung gegebene Klangbestandtheile zurückzuführen. Der Erste, der die Anfänge einer phonischen Theorie in diesem Sinne entwickelte, war Rameau[3], an den sich später d'Alembert anschloss[4]. Nach Rameau nennen wir solche Klänge harmonisch, die Bestandtheile eines und desselben Grundklangs (basse fondamentale) sind. Seine Theorie gründet sich also bereits auf die Erkenntniss, dass sich auf

---

[1] Leibniz, Principes de la nature et de la grâce, 17. Ed. Erdmann p. 717 f.
[2] Euler, Nova theoria musicae. 1736, Cap. II, p. 26 f.
[3] Nouveau système de musique. 1726.
[4] Éléments de musique théorique et pratique suivant les principes de M. Rameau Nouv. édit. 1766.

dem Grundklang eine Reihe höherer Töne erhebt, deren Schwingungsverhältnisse der Reihe der ganzen Zahlen entsprechen[1]. Diese Ideen, die selbst noch allzu sehr der physikalischen Begründung entbehrten, gewannen jedoch keinen merklichen Einfluss: die Physiker wie die Musiktheoretiker blieben im allgemeinen bei den in den akustischen Gesetzen scheinbar wohl begründeten Vorstellungen der metrischen Theorie stehen, bis HELMHOLTZ durch seine entscheidenden Untersuchungen über das Wesen der Klangfarbe und über die Combinationstöne der Lehre von der Consonanz und Dissonanz einen neuen Impuls gab. Indem er den Einzelklang als eine Verbindung zahlreicher Theiltöne nachwies, gewann der Begriff der Klangverwandtschaft einen klarer definirbaren Inhalt; und indem er ferner die Combinationstöne als wichtige Bestandtheile der Zusammenklänge kennen lehrte, ergaben sich die Verhältnisse dieser resultirenden Töne zu einander und zu den primären Klängen als wesentliche Merkmale für die Kennzeichnung der verschiedenen Zusammenklänge. Demzufolge betrachtete HELMHOLTZ die Schwebungen der primären Töne und der Combinationstöne als die Ursachen der Dissonanz, das Fehlen oder relative Zurücktreten solcher Schwebungen als die der Consonanz. Das entscheidende Moment für die sogenannte Consonanz der Klangfolge dagegen wurde ihm die durch die Uebereinstimmung bestimmter Theiltöne erzeugte Klangverwandtschaft[2]. Diese Theorie leidet augenscheinlich an dem Uebelstand, dass sie nur die directe Klangverwandtschaft berücksichtigt und so gerade die eigentliche Consonanz nur negativ, aus dem Fehlen der störend empfundenen Tonstöße oder Schwebungen, erklärt. Dem gegenüber hat A. VON OETTINGEN das Verdienst, dass er zum ersten Male das Moment der Klangverwandtschaft in seiner übereinstimmenden Bedeutung für Zusammenklang wie Klangfolge in den Vordergrund rückte, wogegen er den Schwebungen nur noch eine untergeordnete Bedeutung zugestand. Denn er hob hervor, dass je nach der Tonlage starke Dissonanzen ohne erhebliche Schwebungen vorkommen können, und dass wir uns in der Erinnerung sogar regelmäßig die Dissonanzen ohne begleitende Tonstöße vorzustellen pflegen. So kehrte sich bei ihm das von HELMHOLTZ angenommene Verhältniss im wesentlichen um: die Consonanz war ihm nicht mehr eine mangelnde Dissonanz, sondern diese an sich zunächst nur eine mangelnde Consonanz, die sich freilich in der Regel auch mit der störenden Empfindung von Schwebungen und Geräuschen verbinde, in der musikalischen Accordfolge aber, als Uebergangsglied zwischen zwei andern Consonanzen, die Bedeutung einer »Bissonanz« besitze. Auf der Grundlage dieser Anschauungen bildete VON OETTINGEN die Lehre von den Accorden aus. Für die Duraccorde knüpfte er dabei wieder im wesentlichen an die Theorien von RAMEAU und D'ALEMBERT an, während er zugleich auf ihre symmetrische Ergänzung durch die Mollaccorde hinwies. Demnach fasst OETTINGEN die Töne des Duraccords als zugehörig zu einem einzigen Grundton auf, dem tonischen Grundton, die Klänge des Mollaccords als übereinstimmend in einem einzigen Oberton, dem phonischen Oberton. So ergibt sich ein doppeltes Princip, der Tonalität und der Phonalität, als Grundlage für den Aufbau der harmonischen Zusammenklänge. Dieses Princip ist von OETTINGEN in seiner Anwendung auf Accord-

[1] RAMEAU, a. a. O. p. 17.
[2] HELMHOLTZ, Lehre von den Tonempfindungen[4], S. 368, 581 ff.

umlagerungen, melodische Tonfolge und Systematik der Tonarten eingehend durchgeführt worden[1]. Unter den Musikern hat sich an HELMHOLTZ und OETTINGEN hauptsächlich HUGO RIEMANN angeschlossen[2].

Unverkennbar ist es ein großer Vorzug der so zur Entwicklung gelangten phonischen Theorie, dass sie von keinerlei hypothetischen Elementen Gebrauch macht, sondern lediglich solche Bedingungen der Consonanz voraussetzt, die sich thatsächlich als Empfindungsinhalte nachweisen lassen. Gleichwohl gibt es in dieser Theorie einen Punkt, der eine gewisse Schwierigkeit bereitet hat. Wenn die Consonanz, namentlich bei der Klangfolge, durch übereinstimmende Obertöne entsteht, so scheint dem zu widersprechen, dass auch einfache, obertonfreie Klänge consonant sein können. Demnach hat man hier auf doppelte Weise abzuhelfen gesucht. Entweder wurde diese Consonanz einfacher Töne in der That als eine unvollkommenere angesehen, die im Grunde erst durch die Association mit obertonreichen Klängen zu stande komme. Oder man nahm an, absolut obertonfreie Klänge gebe es überhaupt nicht, sondern, wo solche objectiv existiren sollten, da entstünden im Ohr in Folge der Eigenschaften des Resonanzapparates subjective Obertöne. Der ersten dieser Annahmen neigte HELMHOLTZ zu: er meinte, dass Tonfolgen obertonfreier Klänge in der That »leer«, weniger consonant seien, und dass dabei außerdem das »Sinnengedächtniss«, d. h. eben die Association mit obertonreichen Klängen, eine gewisse Rolle spiele[3]. Dieser Ansicht, dass die Consonanz einfacher Töne eine wesentlich geringere sei, wird man aber doch kaum beipflichten können. Bei unbefangener Auffassung wird man vielmehr nur sagen können, dass sie in mancher Beziehung eine andere, dass sie aber selbst bei der bloßen Klangfolge eine sehr wirksame Form der Consonanz sei. Hier spielt eben das oben berührte Moment eine Rolle, dass Consonanz kein absolut einheitlicher Begriff ist. Vollends dem Gedächtniss wird man einen Einfluss, wie er hier angenommen wurde, unmöglich zuschreiben können. Abgesehen davon, dass sich von einer solchen Wirksamkeit desselben im vorliegenden Fall nicht das geringste nachweisen lässt, scheint eben jener eigenartige Eindruck, den consonante Intervalle in reinen Tönen hervorbringen, eine specifische Form musikalischer Schönheit zu sein, die gerade auf der Abwesenheit der Partialtöne beruht, die man hier als Gedächtnisshülfen herbeiziehen möchte. Ueberdies, da in dem Reichthum und in der relativen Stärke der Obertöne musikalischer Instrumente so überaus mannigfache Unterschiede vorkommen, an welchen dieser obertonreichen Klänge sollte eine solche Association anknüpfen? Hier verhält es sich doch wesentlich anders mit jenen associativen Einflüssen, die, wie oben erwähnt, zweifellos Klangfolge und Zusammenklang auf einander ausüben. Wenn z. B. in einem Zusammenklang das Sextenintervall dominirt und dann in einer Klangfolge die Sext einen jenem Zusammenklang verwandten Eindruck macht, so ist das zunächst ein reiner Gefühlseffect, der aber in einem völlig eindeutigen Verhältniss der Vorstellungselemente und in der auf Grund desselben entstehenden Association seine Grundlage hat. Diese Form associativer

---

[1] A. VON OETTINGEN, Harmoniesystem in dualer Entwicklung. 1866.

[2] H. RIEMANN, Musikalische Logik. Musikalische Syntaxis. 1877. Allgemeine Musiklehre[2]. 1897. Elemente der musikalischen Aesthetik. 1900.

[3] Lehre von den Tonempfindungen[4], S. 468.

Beziehung der Vorstellungen begegnet uns in der That fortwährend in den verschiedensten Gestaltungen, während ein Analogon zu jener Gedächtnisswirkung eines zusammengesetzten auf einen einfachen Einzelklang schwerlich aufzufinden wäre. Schon HELMHOLTZ hat übrigens neben dieser ersten noch eine zweite Hypothese angedeutet, die möglicher Weise die Consonanz einfacher Töne auf Grund der Klangverwandtschaft erklären könne. Er meinte, vermöge der Construction des Gehörorgans würden bei allen starken objectiven Tönen im Ohre selbst subjective Obertöne entstehen, indem mit den Theilen des Resonanzapparates, die auf den einwirkenden Ton direct abgestimmt sind, auch solche in Mitschwingungen gerathen könnten, die auf die entsprechenden Obertöne reagiren. Entschiedener noch als HELMHOLTZ hat dann MACH diese Hypothese der subjectiven Obertöne vertreten und dabei die Entstehung der letzteren sogar als eine ausgemachte Thatsache angesehen[1]. Nun lässt sich allerdings, wie schon oben bemerkt wurde (S. 139), die physikalische Möglichkeit solcher subjectiver Obertöne nicht bestreiten. Aber nicht minder gewiss ist es, dass in vielen Fällen theils unmittelbar theils unter Zuhülfenahme der Auslöschung von Theiltönen mittelst der Interferenzapparate (S. 103) wirklich einfache Töne gehört werden können, d. h. solche, in denen das Ohr keine Spur von Obertönen mehr wahrnimmt, und dass gerade solche Töne die eigenartige Consonanz reiner Töne in besonders ausgeprägter Weise zeigen. Jene hypothetischen Obertöne gehören also, gerade so wie die »Untertöne«, die RIEMANN in den Einzelklängen als Aequivalente der Differenztöne zu hören glaubte, jedenfalls nicht zu den thatsächlichen Bestandtheilen des Klangs. Doch, um die Consonanz der Klangfolge zu erklären, dazu scheinen auch diese hypothetischen Elemente nicht erforderlich. Denn je mehr die phonischen Elemente der Consonanz zurücktreten, um so deutlicher, weil unvermischter, machen sich die metrischen Einflüsse geltend, die den consonanten Intervallen vor allem bei der Klangfolge einen entschiedenen Vorzug verleihen. Indem dann zu ihnen noch jene wirklich nachweisbaren Associationen der successiven zu den entsprechenden simultanen Intervallverbindungen hinzukommen, findet darin einerseits die Eigenart der Consonanz von Klangfolgen einfacher Töne, anderseits aber auch die Beziehung, in die sie zu den andern Formen der Consonanz, vor allem zu denen der Accorde tritt, ihre vollkommen zureichende, nirgends den Boden des thatsächlich Gegebenen überschreitende Erklärung.

Die Nothwendigkeit, neben den phonischen Principien der Consonanz oder, wie er meint, sogar an Stelle derselben metrische Verhältnisse anzunehmen, hat in neuerer Zeit besonders energisch auch TH. LIPPS betont[2]. Doch glaubt er zu diesem Zweck zu der älteren, hypothetischen Form der metrischen Theorie in dem Sinne zurückkehren zu sollen, dass er zwar die Vorstellung eines unbewussten Zählens der Schwingungsverhältnisse aufgibt, dafür aber auf die Bedeutung rhythmischer Eindrücke hinweist, die sich, wie im Bewusstsein in der Bevorzugung regelmäßiger Gliederungen der Zeit, so unter der Schwelle des Bewusstseins in dem consonanten Eindruck von Tönen, die in einem ein-

---

[1] MACH, Wiener Sitzungsber. 2. Abth. Bd. 92, 1885, S. 1283.

[2] TH. LIPPS, Grundthatsachen des Seelenlebens. 1883, S. 238 ff. Psychologische Studien. 1885, S. 92 ff. Zur Theorie der Melodie. Zeitschr. für Psychologie, Bd. 27, 1901, S 225 ff.

fachen Schwingungsverhältnisse stehen, verrathe. Consonanz ist ihm also unbewusste Rhythmik, und er weist darauf hin, dass, wie bei dem eigentlichen Rhythmus, so auch bei der Consonanz die Zweitheilung das vor andern bevorzugte Verhältniss sei. Für so berechtigt ich nun, wie aus den obigen Erörterungen hervorgeht, die Geltendmachung des metrischen Princips an sich halte, so wenig kann ich dieser Verlegung seiner Geltung auf das hypothetische Gebiet des Unbewussten zustimmen. Auch hier gilt, was hinsichtlich der analogen Erklärung der Klangfarbe gesagt wurde, dass die Elemente der Klangvorstellungen genau nur insoweit und so lange in der unmittelbaren Constitution derselben wirksam bleiben, als sie zugleich Bewusstseinselemente sind (S. 121 f.). Speciell bei dem Consonanzproblem auf eine unbewusste Rhythmik zurückzugreifen, scheint mir aber um so weniger gerechtfertigt, als hier die Thatsache, dass wir unmittelbar eine Empfindung in einfache Theile gliedern und dabei insbesondere die Zweitheilung bevorzugen, eine wirkliche Bewusstseinsthatsache ist, die sich experimentell exact nachweisen lässt. Diesem thatsächlichen Moment ein hypothetisches, sich jeder Nachweisung entziehendes zu substituiren, dazu dürfte kein Grund vorliegen. Denn wenn zur Erklärung einer und derselben Erscheinung eine Reihe direct beobachteter Thatsachen und eine Reihe von Hypothesen einander gegenüberstehen, so sind, wie ich meine, unter allen Umständen die Thatsachen den Hypothesen vorzuziehen. Allerdings erklärt das metrische Princip in dieser empirisch nachweisbaren Bedeutung nicht die ganze Consonanz, sondern nur eine Seite derselben; ja der Schwerpunkt besonders für das Verständniss der Wirkungen der einzelnen Klangfolgen und Zusammenklänge liegt sogar nach der qualitativen, der phonischen Seite. Aber diese Vielgestaltigkeit der Bedingungen, die doch auf das engste zusammenhängen und in einander eingreifen, und von denen bald die einen bald die andern mehr hervortreten können, liegt gerade bei einer so zusammengesetzten Erscheinung viel näher, als eine willkürlich angenommene oder durch unbeweisbare Hypothesen erzwungene Uniformität. In der That scheint mir auch bei LIPPS dieses Vorurtheil, der einheitliche Begriff der Consonanz gestatte nur eine einzige Ursache, darin hervorzutreten, dass er da, wo die Verhältnisse der Klangverwandtschaft zu unmittelbar empirisch nachweisbaren Bedingungen werden, nun diese ebenfalls auf jene rein hypothetischen Elemente zurückführt, wo sich dann allerdings die Hypothesen uniform gestalten lassen. Die von LIPPS entwickelte Theorie zerfällt daher in zwei Bestandtheile, in deren einem die unbewusste Rhythmik ein hypothetischer Ausdruck ist für die thatsächlich gegebene metrische Gliederung der Empfindungsstrecken, und in deren anderem er dieselben hypothetischen Elemente verwendet, um sie den phonischen Thatsachen der Empfindungsanalyse zu substituiren[1].

[1] Aehnlich verhält es sich mit den ebenfalls im Sinne einer rein metrischen und, wenn nicht ausdrücklich, so doch stillschweigend auf das Gebiet des »Unbewussten« zurückgreifenden Speculationen von M. MEYER über die Theorie der Melodie (Contributions to a psychological Theory of Music, University of Missouri Studies, 1901). Nur muss anerkannt werden, dass LIPPS immerhin sorgfältiger darauf bedacht ist, in sein hypothetisches Schema nichts aufzunehmen, was sich nicht irgendwie auch in den Thatsachen wiederfindet, während M. MEYER mit den letzteren ebenso willkürlich umspringt wie mit dem, was er die »ältere Theorie« der Musik nennt, und was kaum einer irgendwo wirklich existirenden Theorie ähnlich sieht. Zur Kritik dieser MEYER'schen Theorie vgl. übrigens LIPPS, Zeitschr. für Psychologie, Bd. 27, 1901, S. 235 ff.

Von den Grundgedanken sowohl der phonischen wie der metrischen Theorie entfernt sich schließlich diejenige Auffassung, die seit einer Reihe von Jahren C. STUMPF entwickelt und als »Verschmelzungstheorie« bezeichnet hat[1]. Bei ihm steht sichtlich die Ueberzeugung im Vordergrund, dass, wie der Name der Consonanz ein einziger ist, so auch das Wesen dieser Erscheinung ein durchaus einheitliches sein müsse, das zwar Grade, aber keine qualitativen Abweichungen zulasse. Dies erhellt deutlich aus seiner Kritik anderer Theorien, die regelmäßig darauf hinausläuft, dass das geltend gemachte Moment mehr oder weniger bei der Consonanz mitwirken, dass es aber auch gelegentlich fehlen könne, und dass daher »die Consonanz« nothwendig etwas anderes sein müsse[2]. Dabei steht zugleich diese Kritik anderer Theorien im allgemeinen unter der Voraussetzung, dass jede Association ein reflectirender Erinnerungsvorgang, und jede Maßbeziehung von Tönen ein Abzählen von Schwingungen sei. STUMPF selbst hält demnach den Begriff der »Verschmelzung« für die Lösung des Räthsels, wobei er unter diesem Namen keinen bestimmt definirten Vorgang, sondern lediglich alle die Erscheinungen versteht, bei denen irgend welche simultane oder auch successive psychische Vorgänge eine mehr oder minder feste oder lose Einheit bilden. Consonanz ist ihm also »Tonverschmelzung«, und den Grad der Consonanz bestimmt daher die Festigkeit dieser Verschmelzung, die sich nach der Neigung, einen Zusammenklang mit einem Einzelklang zu verwechseln, wie es namentlich unmusikalischen Personen und Kindern begegnet, ermessen lasse. Dass dieser Begriff der Verschmelzung im Widerspruch steht sowohl mit den thatsächlichen Bedingungen wie mit den unmittelbaren Urtheilen über Consonanz und Dissonanz, wurde oben schon dargelegt (S. 119 f.). Auch wird derselbe ebenso wie das zu seiner Bestimmung dienende Maßverfahren von STUMPF selbst nicht festgehalten, da er schließlich auch der Klangfolge eine Consonanz zuschreibt, zu deren Erklärung er dann die unmittelbare Erinnerung an den vorangegangenen Eindruck und die angebliche Verschmelzung dieses Erinnerungsbildes mit dem neuen Eindruck zu Hülfe ruft[3]. Der Grundmangel dieser »Verschmelzungstheorie« liegt, abgesehen von den früher schon geltend gemachten Momenten, darin, dass sie die auf Grund der Thatsachen der Klangzerlegung psychologisch wohl analysirbaren Phänomene der Consonanz und Dissonanz auf einen von ihr durchaus nicht analysirten Begriff, also im Grunde genommen auf ein bloßes Wort zurückführt. Nun bieten gerade die Zusammenklänge eine geradezu einzigartige Gelegenheit, um nicht nur die Erscheinungen der Verschmelzung überhaupt, sondern ganz besonders auch die specifischen Formen derselben bei consonanten Zusammenklängen zu analysiren. Die Ergebnisse dieser thatsächlichen psychologischen Analyse zeigen aber klar, dass sowohl die allgemeinen Eigenschaften der Verschmelzungsvorgänge überhaupt wie insbesondere die specifischen Eigenschaften der losen Verschmelzungen der Consonanz bei dieser sogenannten »Verschmelzungstheorie« unbeachtet geblieben sind. So geschieht es denn, dass eben das Moment, durch das die Verschmelzung eine wirkliche Bedeutung für die Consonanz besitzt, die

---

[1] STUMPF, Tonpsychologie, Bd. 2. Consonanz und Dissonanz, Beiträge zur Akustik und Musikwissenschaft, Heft 1, 1898.

[2] Consonanz und Dissonanz, Cap. 1—3.

[3] STUMPF, Consonanz und Dissonanz, S. 55 ff.

Vorherrschaft eines einzelnen, des herrschenden Tones, in ihr unbeachtet bleibt, und dass sie das wirkliche Causalverhältniss zwischen Consonanz und Verschmelzung umkehrt: sie macht die Verschmelzung zur Ursache der Consonanz, während in Wahrheit die Consonanz Ursache jener specifischen Form distincter Tonverschmelzung ist, die die musikalischen Accorde kennzeichnet.

Dass es sich übrigens bei allen Erwägungen über die physiologischen und psychologischen Bedingungen der Consonanz, wie sie oben angestellt worden sind, lediglich um die Gewinnung elementarer Grundlagen der musikalischen Wirkung, nicht aber um eine Analyse der zusammengesetzten ästhetischen Eigenschaften des musikalischen Kunstwerks handelt, sollte eigentlich für ebenso selbstverständlich gelten, wie die Forderung, dass die Musikästhetik, wenn sie nicht fortan in dem Bannkreis der speculativen Aesthetik vergangener Zeiten verbleiben will, eben an jenen elementaren Thatsachen der Psychologie der Gehörsvorstellungen nicht achtlos vorbeigehen darf. Die meisten Musikästhetiker scheinen leider zu einer solchen richtigen Würdigung der Bedeutung und zugleich der Grenzen der psychophysischen Aufgaben auf diesem Gebiete wenig geneigt zu sein. Sie scheinen die physiologische und psychologische Analyse der Klangwirkungen für eine Art Entweihung des hehren musikalischen Kunstwerks zu halten, und übersehen dabei, dass schwerlich jemals jemand daran gedacht hat, aus Klangverwandtschaft, Differenztönen, Schwebungen und ähnlichem etwa die Wirkungen der »Symphonia eroica« ableiten zu wollen[1]. Es scheint eben unter den Musikästhetikern wie unter den Philosophen überhaupt immer noch solche zu geben, die zwar wissen, dass man im praktischen Leben ein Haus nicht bei dem Dach zu bauen anfängt, die aber diese Methode bei philosophischen und ganz besonders bei ästhetischen Aufgaben für die vortrefflichste halten.

Dreizehntes Capitel.

Räumliche Tastvorstellungen.

1. Localisation der Tastempfindungen.

a. Die Raumschwelle des Tastsinns.

Die Druck- und Temperaturempfindungen unserer Haut beziehen wir auf den Ort, der vom Reize getroffen wird; ebenso die dem Tastsinn verwandten Empfindungen der inneren Theile. Die Genauigkeit dieser Localisation ist außerordentlich verschieden. Sie ist am unvollkommensten bei den Gemeinempfindungen, und wahrscheinlich wird hier die Ortsvorstellung

---

[1] Man vergleiche z. B. das nicht ohne physiologische Einzelkenntnisse geschriebene Buch von PAUL MOOS, Moderne Musikästhetik in Deutschland, 1902, das auch eine gute Uebersicht der Geschichte der philosophischen Musikästhetik enthält, das aber durchgängig an jenem Missverständnisse leidet.

erst durch die zeitweise Verbindung mit Tastempfindungen eine etwas bestimmtere. Einer messenden Vergleichung sind jedoch in dieser Beziehung nur die verschiedenen Provinzen der Hautoberfläche zugänglich. Die nächstliegende Methode, um hier die Genauigkeit der örtlichen Auffassung zu prüfen, besteht darin, dass man eine Hautstelle berührt und dann aus der bloßen Tastempfindung, also unter Ausschluss des Gesichtssinns, durch Nachtasten die vorher berührte Stelle aufsuchen lässt[1]. Hierbei wird im allgemeinen ein Fehler begangen, der sich, sobald man eine größere Zahl von Beobachtungen verwendet, bei jeder Hautstelle einem bestimmten Werthe nähert, für die verschiedenen Stellen aber außerordentlich wechselt. Die Feinheit der Localisation wird man daher der Größe dieses Fehlers umgekehrt proportional setzen können. Dies Verfahren entspricht demnach einigermaßen der Methode der mittleren Fehler bei der Intensitätsmessung[2]. Im vorliegenden Fall führt es aber unmittelbar zu einer kürzeren Methode, die der Methode der Minimaländerungen analog ist. Führt man nämlich an sich selbst die Beobachtungen aus, so gestaltet sich der obige Versuch ohne weiteres in der Weise, dass man rasch nach einander zwei benachbarte Punkte der Haut berührt und nun diejenige Grenze aufsucht, bei der die beiden Berührungen zuerst auf zwei Orte bezogen werden. Nach der gleichen Methode kann man dann natürlich auch bei andern Personen Versuche ausführen, indem man etwa die beiden Branchen eines Cirkels rasch nach einander mit möglichst gleichförmigem Druck auf eine Hautstelle aufsetzt. Den Grenzwerth, bei welchem die beiden Eindrücke eben als local verschiedene aufgefasst werden, nennt man die Raumschwelle für successive Reize oder abkürzend die Successivschwelle des Tastsinns.

Die Bestimmung dieser Successivschwelle, obgleich sie die einfachste Methode zur Bestimmung der Localisationsschärfe zu sein scheint, leidet nun aber an erheblichen Uebelständen. Theils ist es schwierig, immer genau die gleiche Geschwindigkeit der Succession, und noch mehr bei dieser immer den gleichen Grad der Aufmerksamkeit festzuhalten; theils können sehr leichte Unterschiede in der Stärke des ausgeübten Druckes eintreten. Diese unbeabsichtigte Variation der Bedingungen findet denn auch in den großen Schwankungen der Successivschwelle, so weit Bestimmungen derselben überhaupt versucht worden sind, ihren Ausdruck[3]. Im allgemeinen ist daher die Methode zu Gunsten derjenigen verlassen

[1] E. H. WEBER, Sitzungsber. der sächs. Ges. der Wiss. 1852, S. 87.
[2] Vgl. Bd. 1, S. 472.
[3] Vgl. namentlich CZERMAK, Sitzungsber. der Wiener Akademie, 3, Bd. 15, 1855, S. 474 ff. KOTTENKAMP und ULLRICH (Versuche unter VIERORDTS Leitung), Zeitschrift für Biologie, Bd. 6, 1870, S. 45 f. JUDD, Philos. Stud. Bd. 12, 1896, S. 409 ff. TAWNEY and HODGE, Psych. Rev. vol. 5, 1898, p. 286. VON FREY und METZNER, Zeitschr. für Psychol. Bd. 29, 1902, S. 161.

worden, deren sich E. H. WEBER, der sie zuerst anwandte, selbst schon vor ihr bedient hatte. Sie besteht darin, dass man zwei Cirkelspitzen nicht successiv, sondern gleichzeitig auf die zu untersuchende Hautstelle aufsetzt: man gewinnt so die Raumschwelle für simultane Reize oder, abgekürzt ausgedrückt, die Simultanschwelle des Tastsinnes[1]. Die Werthe dieser Simultanschwelle sind durchweg erheblich größer als die der Successivschwelle; aber sie sind zugleich sehr viel constanter, was, zusammengenommen mit der größeren Einfachheit der Methode, deren Bevorzugung als eines allgemeinen Maßes der Localisationsschärfe, ihrer Verschiedenheiten und Veränderungen unter verschiedenen Bedingungen rechtfertigt. Ueberträgt man die bei der Empfindungsmessung gebrauchten Ausdrücke auch auf die in der Raum- oder Zeitform zu Vorstellungen geordneten Empfindungen, so kann man nun allgemein jenen Grenzwerth, der die kleinste eben wahrnehmbare Raum- oder Zeitentfernung misst, als extensive Schwelle bezeichnen, im Gegensatze zur intensiven Schwelle, welche die eben unterscheidbare Intensität der Empfindung bestimmt. Die extensive Schwelle selbst können wir dann aber wieder unterscheiden in die Raumschwelle, um die es sich hier handet, und in die Zeitschwelle, auf deren Betrachtung wir später (Cap. XV) eingehen werden[2].

Zur Bestimmung der so definirten Simultanschwelle des Tastsinns bedient man sich nach dem Vorbilde WEBERs entweder eines gewöhnlichen Cirkels mit etwas abgestumpften Spitzen oder besser eines Stangencirkels, wie er auch sonst zu Längenmessungen angewandt wird, mit an einer Millimeterscala verschiebbaren Branchen. Man beginnt mit einer Distanz, die unter der Schwelle liegt, und bei der demnach die beiden Spitzen als ein einziger punktförmiger Eindruck aufgefasst werden. Dann vergrößert man die Distanz in successiven Versuchen, bis die Grenze erreicht ist, wo die Eindrücke deutlich als zwei erscheinen. Auch hier lässt sich aber, ähnlich wie bei den sonstigen Anwendungen der Methode der Minimaländerungen, der umgekehrte Weg, von über der Schwelle liegenden Distanzen beginnend, einschlagen, so dass sich schließlich die definitive Raumschwelle aus mehreren Probeversuchen als der zwischen der untermerklichen und der übermerklichen räumlichen Scheidung der Eindrücke in der Mitte liegende Grenzwerth ergibt. Die Größe dieses Grenzwerthes variirt nach den Messungen WEBERs je nach der Hautstelle zwischen 1 und 68 Millimetern. Wählt man feinere Spitzen zur Berührung, so kann aber die

[1] Annotationes anatomicae et physiologicae. 1834 (1829), p. 44 f. Art. Tastsinn und Gemeingefühl, WAGNERs Handwörterbuch der Physiologie, Bd. 3, 2, S. 524 ff.

[2] Der Ausdruck extensive Schwelle rührt von FECHNER her, der ihn aber auf den Begriff der Raumschwelle beschränkt hat (Elemente der Psychophysik, Bd. 1, S. 52, 267 f.).

Distanz unter diese Werthe herabgehen, namentlich wenn die durch feinere Empfindlichkeit ausgezeichneten Druckpunkte (S. 9) getroffen werden. Am feinsten ist die Unterscheidung an der Zungenspitze und an der Volarfläche der vordersten Fingerglieder, erheblich gröber an den übrigen Theilen der Hand, dem Gesichte, den Zehen u. s. w., am ungenauesten an Brust und Bauch, Rücken, Oberarm und Oberschenkel. Hat man die Grenze, wo die zwei gleichzeitig aufgesetzten Spitzen unterschieden werden, nahezu erreicht, so wird zwar noch kein doppelter Eindruck wahrgenommen, aber man bemerkt zuweilen schon deutlich, in welcher Richtung, ob z. B. longitudinal oder transversal, die beiden Spitzen aufgesetzt sind, indem man von der Ausdehnung des Eindrucks eine gewisse Vorstellung hat.

Ebenso wie Druckreize werden auch die Temperatur- und Schmerzreize localisirt und, wenn sie auf zureichend entfernte Hautstellen einwirken, räumlich unterschieden. Doch finden sich dabei, namentlich bei den Schmerzreizen, im allgemeinen größere Raumschwellen als bei den Druckreizen, ein Unterschied, der wohl mit der weiteren Irradiation dieser Empfindungen zusammenhängt. Feiner wird übrigens auch hier die Unterscheidung bei der directen Einwirkung auf die Temperaturpunkte, insbesondere auf die durch ihre ohnehin größere Empfindlichkeit ausgezeichneten Kältepunkte.

Bei allen diesen Versuchen stellt sich nun die für die Deutung der Erscheinungen höchst bemerkenswerthe Thatsache heraus, dass Schärfe der localen Unterscheidung und Auffassung der Entfernung zweier Eindrücke im allgemeinen von einander unabhängige Vorstellungen sind. Während die erstere, wie angegeben, an den verschiedenen Hautregionen etwa im Verhältniss von 1 : 68 variirt, zeigt die letztere, sobald die Raumschwelle erreicht ist, durchaus keine parallel gehenden Unterschiede, wenn auch die absolute Distanzschätzung an den Stellen mit kleinerer Raumschwelle genauer ist als an denen mit großer. Nachdem z. B. der Schwellenwerth von 68 mm an Rücken oder Oberschenkel überschritten ist, nimmt man sofort den Zwischenraum zwischen den zwei Eindrücken als einen sehr großen wahr, wogegen man ihn an der Finger- oder Zungenspitze jenseits der Grenze von 1—2 mm als einen sehr kleinen auffasst: beidemal wächst die Vorstellung der Entfernung mit der wirklichen Entfernung, nur dass sie an den Hautstellen mit größerer Raumschwelle ungenauer und darum variabler ist als an denen mit kleiner. Von diesem Verhalten gibt es nur eine einzige Ausnahme, die zufällig von E. H. Weber schon bei seinen ersten Bestimmungen der Raumschwellen verschiedener Hauttheile entdeckt wurde, und die, weil man ihr eine allgemeingültige Bedeutung zuschrieb und jene oben erwähnten Unterschiede der bei den Schwellenwerthen vorhandenen Größenvorstellungen nicht

beachtete, die Auffassung dieser Verhältnisse nicht selten getrübt hat. Wenn man nämlich bei dem WEBER'schen Versuch die beiden Cirkelspitzen bei einer etwas über der Schwelle liegenden Distanz rasch und continuirlich von einer Hautstelle mit größerem zu einer mit ihr zusammenhängenden mit kleinerem Schwellenwerth, z. B. von der Wange nach dem Munde oder vom Vorderarm nach der Hand hin, bewegt, so scheinen die Cirkelspitzen etwas auseinanderzuweichen und bei der umgekehrten Bewegung sich zu nähern[1]. Diese Erscheinung tritt aber schon dann nicht mehr ein, wenn man die gleichen Bewegungen langsam ausführt, wo man während des ganzen Verlaufs die Vorstellung einer gleich bleibenden Entfernung hat; und ebenso ist sie bei der Ausführung gesonderter Tastversuche an den einzelnen Hautstellen nicht zu bemerken. Offenbar handelt es sich also hier um ein Phänomen, das mit dem raschen Wechsel in der Deutlichkeit der Wahrnehmung des Zwischenraums zwischen den Eindrücken zusammenhängt, und das sich im wesentlichen einer Reihe analoger Raumtäuschungen auf diesem und andern Sinnesgebieten einordnet, z. B. der Größerschätzung einer mehrfach eingetheilten Raumstrecke gegenüber einer nicht eingetheilten u. s. w. Dem gegenüber ist aber als das normale Verhalten durchaus dies zu bezeichnen, dass Unterscheidung der Eindrücke und Auffassung ihrer Distanz verschiedene und im allgemeinen von einander unabhängige Seiten der Vorstellungsbildung sind.

E. H. WEBER gerieth auf die Idee seiner »Cirkelversuche« zur Bestimmung des von ihm so genannten »Ortssinnes« der Haut, indem er eine von den Astronomen zuerst angewandte Methode zur Bestimmung der Sehschärfe des Auges, die Messung der Distanz, in die sich der Sehende von zwei parallel ausgespannten Fäden begeben muss, wenn diese eben noch als getrennte wahrnehmbar sein sollen, mutatis mutandis auf das Tastorgan übertrug. Das einfache Verfahren, das WEBER schon in seiner ersten Abhandlung über den Tastsinn vom Jahre 1830 beschrieben hat, ist dann im wesentlichen bis zum heutigen Tage beibehalten worden[2]. Man bedient sich eines Stangencirkels mit abgestumpften oder, wie es WEBER schon vorschlug, in eine nicht-metallische Substanz (Kork oder Holz) übergehenden Branchen, die an einer Millimeterscala verschiebbar und durch Schrauben festzustellen sind. Einen speciell zu Tastversuchen eingerichteten Stangencirkel dieser Art hat H. GRIESBACH beschrieben, der sich aber durch sein beträchtliches Gewicht nicht gerade vortheilhaft auszeichnet[3]. Denn je schwerer das Instrument ist, um so leichter können sich die beiden Hauptfehler solcher aus freier Hand vorgenommener Druckversuche, ein ungleichzeitiges oder ein ungleich starkes

[1] E. H. WEBER, Annotat. anatom. De subtilitate tactus, p. 59.

[2] Annotationes anatom. et physiol. De subtilitate tactus, p. 46.

[3] H. GRIESBACH, Archiv für Hygiene, Bd. 24, 1895, S. 124 ff. Ein ähnliches, noch etwas complicirter construirtes Aesthesiometer hat A. BINET beschrieben (Année psychol., t. 7, 1901, p. 231).

Aufsetzen der Cirkelspitzen, geltend machen. Bei ungleichzeitigem Aufsetzen verringert sich aber die Schwelle, weil sie aus der simultanen in die successive übergeht; und bei Verstärkung des Drucks nimmt sie zuerst ab und dann von einer gewissen Grenze an wegen der Irradiation der Reizung wieder zu. Nicht minder verringert sie sich, wenn man sich feinerer Cirkelspitzen bedient, vorausgesetzt nur, dass man Schmerzerregungen vermeidet. Gleichwohl würde es wegen der sonstigen Schwierigkeiten in diesem Fall kaum zweckmäßig sein, Apparate mit instrumenteller Ausgleichung der erwähnten Fehler anzuwenden. Die sorgfältige Einübung des Experimentators in der Handhabung des Instrumentes wird daher immer die Hauptsache bleiben, und diese ist in diesem Fall um so leichter möglich, je einfacher das Instrument ist. Mit Rücksicht auf den Vorzug, den namentlich die Leichtigkeit der Druckapparate beanspruchen darf, ist daher im allgemeinen das von VIERORDT und seinen Schülern angewandte einfachste Verfahren mit einer Serie fester Distanzen allen andern vorzuziehen. Es besteht darin, dass man einen Satz von Brettchen herstellt, deren jedes zwei abgestumpfte Spitzen in genau gemessenem, constant bleibendem Abstand und mit sorgfältig nivellirten Enden enthält. Richtet man diesen Satz so ein, dass er einer großen Zahl fein abgestufter Distanzen entspricht, so ist er auch, wenigstens an den Stellen mit kleinerer Raumschwelle, zu der Methode der Minimaländerungen wohl verwendbar, die wegen der unmittelbaren Schwellenbestimmung, die sie zulässt, auch hier den Vorzug verdient. Bei den nach dieser oder einer andern der psychischen Maßmethoden auszuführenden Versuchen ist dann aber außerdem unbedingt die Bestimmung der Simultanschwelle der der Successivschwelle vorzuziehen, obgleich, wie schon CZERMAK fand, die letztere gelegentlich kaum halb so groß gefunden wird als die erstere. Dieser Vorzug der Simultanschwelle gründet sich nicht bloß auf die viel größere Constanz derselben, sondern er ist namentlich auch deshalb gerechtfertigt, weil durch sie die Frage nach der Schärfe der Localisation directer beantwortet wird, als es bei der Bestimmung der Successivschwelle geschieht. Denn die Schärfe der Localisation besteht eben darin, dass ein punktförmiger Eindruck deutlich von einem andern, sonst gleichen, aber local abweichenden, gesondert wird. Darüber entscheidet unmittelbar die Bestimmung der Simultanschwelle. Dagegen kommen bei der Succession der Eindrücke noch andere Momente zur Geltung, die mit der Schärfe der localen Unterscheidung gar nichts zu thun haben: so namentlich die Unterscheidung der Richtung, in der sich bei successiven Eindrücken der locale Reiz verändert. Da nun, wie oben bemerkt, bei der Bestimmung der Simultanschwelle meist vor der Sonderung der Eindrücke ihre Richtung, z. B. ob longitudinal oder vertical, aufgefasst wird, so erklärt sich hieraus schon hinreichend, dass die Successivschwelle allgemein kleiner als die Simultanschwelle gefunden wird; es erklären sich aber auch aus der größeren Zahl und Variabilität der Factoren, aus denen sie sich zusammensetzt, die viel größeren Schwankungen der gewonnenen Ergebnisse.

Wir lassen nun zunächst einen Auszug aus der von WEBER nach seinen Versuchen mitgetheilten Tabelle über die Größe der Simultanschwelle hier folgen. Die Zahlen bezeichnen die Distanzen zweier Cirkelspitzen, die eben unterschieden wurden, in Millimetern[1]:

---

[1] E. H. WEBER, Annotationes anatom., p. 50 f. Art. Tastsinn, S. 539. Von WEBER

Zungenspitze	1
Volarseite des letzten Fingerglieds	2
Rother Rand der Lippen	5
Volarseite des zweiten, Dorsalseite des dritten Fingerglieds	7
Nicht rother Theil der Lippen, Metacarpus des Daumens	9
Wange, Plantarseite des letzten Glieds der großen Zehe	11
Rückenseite des ersten Fingerglieds, Plantarseite des Mittelfußknochens der großen Zehe	16
Haut am hinteren Theil des Jochbeins, Stirn	23
Handrücken	31
Kniescheibe und Umgegend	36
Kreuzbein, oberer und unterer Theil des Unterschenkels	40
Fußrücken, Nacken, Lenden- und untere Brustgegend	54
Mitte des Rückens, Mitte des Oberarms und Oberschenkels	68

Bei der Anwendung feinerer Spitzen zur Berührung, namentlich aber bei der Auswahl nicht der durchschnittlichen Werthe, sondern der Minimalwerthe aus einer größeren Zahl von Versuchen, erhält man freilich sehr viel kleinere Distanzen. So fand GOLDSCHEIDER folgende Minimalwerthe, ebenfalls in Millimetern[1]:

Oberfläche des Nagelglieds	0,1
Daumenballen	0,2—0,3
Handteller	0,4—0,5
Handrücken	0,3—0,6
Wange	0,4—0,6
Kinn und Nase	0,3
Stirn	0,5—1
Beugefläche des Vorderarms	0,5
Oberarm	0,6—0,8
Unterschenkel	0,8—2
Oberschenkel	3
Rücken	4,0—6

Die geringe Größe dieser Werthe ist zum größten Theil jedenfalls dadurch bedingt, dass absichtlich die Spitzen auf Druckpunkte aufgesetzt wurden. Hiernach wird man, wie dies auch GOLDSCHEIDER selbst anerkennt, nur die nach dem WEBER'schen Verfahren erhaltenen Zahlen als diejenigen ansehen können, die ein gewisses Maß für das normale räumliche Unterscheidungsvermögen des Tastorgans enthalten, während die für die specifischen Druckpunkte gefundenen lediglich für die specifische Empfindlichkeit derselben charakteristisch sind.

Versuche über die räumliche Unterscheidung von Temperaturreizen sind bloß mit Rücksicht auf die Verbreitung der Kälte- und der Wärmepunkte von GOLDSCHEIDER angestellt worden. Sie sind daher nur mit den analogen Versuchen desselben Beobachters über die Unterscheidung von Druckreizen vergleichbar. Auch hier wurden allein die bei möglichst directer Berührung der Temperaturpunkte mit kalten oder warmen Metallspitzen erhaltenen Minimalwerthe der Raumentfernung bestimmt. Auf diese Weise ergaben sich folgende Werthe in Millimetern[2]:

---

sind die Resultate in Pariser Linien mitgetheilt; sie sind oben in Millimeter umgerechnet und, wie bei WEBER, abgerundet.

[1] GOLDSCHEIDER, Archiv für Physiologie, 1885, Suppl. S. 84 ff. Ges. Abh. Bd. 1, S. 194 ff.

[2] GOLDSCHEIDER, a. a. O. S. 70 ff. Ges. Abh. Bd. 1, S. 179.

	Kältepunkte	Wärmepunkte
Stirn	0,8	4—5
Wange	0,8	3
Kinn	0,8	4
Bauch und Rücken	1 - 2	4—6
Hohlhand	0,8	2
Handrücken	2—3	3—4
Fuß	3	unbestimmt

Danach scheint es, dass für die räumliche Unterscheidung der Eindrücke die relative Menge der Temperaturpunkte maßgebend ist. Denn die mit dem feinsten intensiven Temperatursinn begabten Theile (Stirn, Wange, Kinn) zeigen auch das feinste extensive Unterscheidungsvermögen.

Außer der Methode der Minimaländerungen hat man für die Bestimmung der räumlichen Unterscheidung von Druckreizen noch die Methode der richtigen und falschen Fälle angewandt. Wird nämlich den beiden Eindrücken eine unveränderliche Entfernung gegeben, die der Raumschwelle nahe kommt, aber etwas unter ihr bleibt, so werden jene in oft wiederholten Beobachtungen bald richtig als zwei aufgefasst, bald aber in einen Eindruck verschmolzen. Bei der Vergleichung verschiedener Hautstellen wird nun das Verhältniss $\frac{r}{n}$, welches für eine gegebene Distanz gefunden wird, in einem bestimmten Verhältniss zur Localisationsschärfe stehen. Doch macht diese Maßmethode bei ihrer Anwendung auf extensive Wahrnehmungen besondere Modificationen erforderlich, da sich ja die Messung in diesem Fall nicht, wie bei der Intensität der Empfindungen, auf Größenunterschiede, sondern auf absolute Größen, nämlich eben auf die Wahrnehmung fest bestimmter räumlicher Distanzen, bezieht. Auch führt der Umstand, dass es sich um die Vergleichung verschiedener Hautstellen handelt, jedenfalls weitere complicirende Bedingungen mit sich.

Bei den von VIERORDT und seinen Schülern ausgeführten Versuchen wurde ein »unwissentliches Verfahren« angewandt, indem man die mit einer gegebenen Distanz D angestellten Versuche mit »Vexirversuchen« untermischte, bei denen bloß ein Eindruck stattfand, so dass der Beobachter in jedem einzelnen Fall nicht wissen konnte, ob der Eindruck ein doppelter oder einfacher sei. Die späteren Versuche von CAMERER zeigen jedoch, dass auch ein »wissentliches Verfahren« befolgt werden kann, indem man fortwährend und ohne eingelegte Vexirversuche die constante Distanz D benützt. Nach einiger Uebung stört die vorhergehende Kenntniss der Eindrücke die Auffassung nicht mehr, ja es scheinen im Gegentheil die zufälligen Schwankungen bei diesem wissentlichen Verfahren geringer zu sein. Auch kommen, wenn man Versuche mit bloß einem Eindruck, die also den Vexirversuchen des unwissentlichen Verfahrens entsprechen, ausführt, analog wie bei den letzteren in einer gewissen Anzahl von Fällen Doppelempfindungen vor[1].

In Ermangelung sicherer mathematischer Anhaltspunkte, die zur Verwerthung der nach der Methode der r. u. f. F. gewonnenen Versuchsergebnisse dienen könnten, hat man sich nun meistens darauf beschränkt, mittelst einfacherer Annäherungsberechnungen aus den empirischen Daten Werthe zu gewinnen, die ein vergleichbares Maß der Ortsempfindlichkeit abgeben. So

[1] W. CAMERER, Zeitschrift für Biologie, Bd. 19, 1883, S. 285 ff.

bestimmte VIERORDT durch ein graphisches Verfahren, indem er die zu einander gehörigen Werthe von D und $\frac{r}{n}$ durch die Abscissen und Ordinaten einer Curve darstellte, den zu $\frac{r}{n} = 1$ gehörenden Werth von D, also diejenige Distanz, bei der in allen Fällen die Eindrücke als getrennte erkannt werden. Er bezeichnet denselben, da er annähernd der Feinheit der Unterscheidung umgekehrt proportional sein muss, als Stumpfheitswerth des Raumsinns. Dieses Verfahren ist, namentlich bei kleineren Werthen von D, nicht einwurfsfrei. Immerhin geben die so gewonnenen Zahlen ein deutliches Bild der gesetzmäßigen Veränderungen des Raumsinns, und man wird VIERORDTS »Stumpfheitswerthe« als ungefähr zusammenfallend mit den oberen Grenzwerthen der Raumschwelle betrachten dürfen. Die Bestimmungen sind durchgängig bei querer Richtung der Eindrücke (senkrecht zur Längsachse der Körpertheile) ausgeführt[1].

		Obere Grenzwerthe der Raumschwelle (Stumpfheitswerthe nach VIERORDT)	Aenderung für je 1 mm der Längsrichtung
Oberarm	oben	53,75	1/1393
	unten	44,58	
Vorderarm	oben	41,21	1/313
	unten	22,54	
Hand	oben	20,41	1/57
	unten	7,78	
3. Finger	oben	7,50	1/47
	unten	2,47	
Oberschenkel	oben	72,52	1/618
	unten	43,88	
Unterschenkel	oben	35,6	1/1375
	unten	27,5	
Fußrücken	oben	32	1/194
	unten	19,44	
Große Zehe	oben	17,25	1/94
	unten	10,33	

Hiernach nimmt an der oberen Extremität die Unterscheidungsfähigkeit von oben nach unten, und zwar mit beschleunigter Geschwindigkeit, zu; bei der unteren ist am Oberschenkel und in gewissem Grade auch am Fußrücken und an den Zehen eine ähnliche Zunahme zu bemerken, am Unterschenkel zeigt dagegen die Empfindlichkeit nur geringe Unterschiede. Aehnlich verhalten sich, wie die folgenden Zahlen zeigen, die Rumpf- und die Kopfhaut, wo nur einzelne Stellen, wie Augenlider, Nase, Lippen, durch feine Unterscheidung sich auszeichnen[2].

---

[1] Vgl. KOTTENKAMP und ULLRICH, Zeitschrift für Biologie, Bd. 6, 1870, S. 37 ff. PAULUS, ebend. Bd. 7, 1871, S. 237 ff. RIECKER, ebend. Bd. 9, 1873, S. 95 ff., Bd. 10, 1874, S. 177. HARTMANN, ebend. Bd. 11, 1875, S. 79 ff. Eine ausführliche Zusammenstellung aller Versuchsresultate gibt VIERORDT, Grundriss der Physiologie[5]. 1877, S. 342 ff.

[2] VIERORDT, Physiologie, S. 344, 347.

Hals	29,6—29,2	Schläfe	25,6
Oberes Ende des Brustbeins	37,0	Winkel des Unterkiefers	30,3
Unteres Ende des Brustbeins	52,0	Wangenhaut	14—19
Seitenlinie in gleicher Höhe	64,3	Oberes Augenlid	9,05
Nabel	41,2	Unteres Augenlid	11,19
Schamfuge	42,2	Oberlippe	5,19
Scheitel	26,9	Unterlippe	4,58
Stirn	19,4	Nasenspitze	8,4
Hinterhaupt	19,8	Kinn	10,7

Außer den beiden genannten Methoden lässt sich endlich für vergleichende Untersuchungen der Raumempfindlichkeit noch eine dritte anwenden, die als Methode der Aequivalente bezeichnet wurde. Sie besteht darin, dass man auf eine bestimmte Hautstelle eine Spitzendistanz A, die größer als die Raumschwelle sein muss, einwirken lässt, und für eine zweite Hautstelle diejenige Distanz B ermittelt, die als gleich groß aufgefasst wird. Es wird dann der Quotient $\frac{A}{B}$ als das Aequivalenzverhältniss zu betrachten sein; je mehr derselbe von der Einheit abweicht, um so verschiedener ist die Raumempfindlichkeit beider Hautstrecken. Durch successive Vergleichungen vieler Hautstellen mit einander kann auf diese Weise eine größere Reihe von Aequivalenzwerthen gewonnen werden. Umfangreiche Versuche nach dieser Methode wurden namentlich von CAMERER ausgeführt[1]. Die Versuche müssen, um die constanten Fehler der Raum- und Zeitlage zu eliminiren, variirt werden, indem man bald auf der ersten bald auf der zweiten Hautstelle die Normaldistanz A, auf der andern die Vergleichsdistanz B wählt, und indem man ferner bald mit einem B deutlich $> A$, bald mit $B < A$ beginnt und allmählich zur Gleichheit fortschreitet. Endlich muss die Veränderung des Aequivalenzverhältnisses bei wechselnder Normaldistanz A untersucht werden. CAMERER hat auf diese Weise an vier Personen die Aequivalenzverhältnisse für Stirn und Lippe $\left(\frac{St}{L}\right)$, Stirn und Handgelenk $\left(\frac{St}{Hg}\right)$, Handfläche und Stirn $\left(\frac{V}{St}\right)$, Finger und Lippe $\left(\frac{F}{L}\right)$ bestimmt. Folgendes sind die Mittelwerthe aus sämmtlichen Versuchen[2]:

A-Distanzen	$\frac{St}{L}$	$\frac{St}{Hg}$	$\frac{V}{St}$	A-Distanzen	$\frac{F}{L}$
4 Linien	1,668	1,0165	0,972	0,5 Linien	1,051
8 »	1,353	0,9763	1,012	1,0 »	1,055
12 »	—	—	1,022	1,5 »	1,044
16 »	—	—	1,013	2,0 »	1,033
20 »	—	—	1,000	2,5 »	1,028
24 »	—	—	1,017	3,0 »	1,025

Im allgemeinen scheinen sich somit die Aequivalenzverhältnisse mit wachsender Distanz mehr und mehr der Einheit zu nähern, so dass bei größern Distanzen die Strecken dann gleich geschätzt werden, wenn sie wirklich annähernd gleich oder nur noch um minimale Werthe verschieden sind. In

[1] CAMERER, Zeitschrift für Biologie, Bd. 23, 1887, S. 509 ff.
[2] CAMERER, a. a. O. S. 533.

einer Reihe weiterer Untersuchungen verglich CAMERER die mittleren und seitlichen Partien eines Körpertheils sowie die Tastempfindlichkeit in der Quer- und in der Längsrichtung. In ersterer Beziehung fanden sich nur sehr geringe Unterschiede, die gefundenen Aequivalenzverhältnisse schwankten um die Einheit; dagegen ist die Empfindlichkeit in der Querrichtung fast constant etwas größer als in der Längsrichtung. Ein sicherer Weg zur exacten Verwerthung der mittelst der Methode der r. und f. Fälle sowie der Aequivalenzmethode gewonnenen Resultate ist übrigens bis jetzt noch nicht gefunden. Mit Rücksicht auf die oben erörterten besonderen Bedingungen der Messung haben zwar sowohl FECHNER[1] wie vor ihm bereits G. E. MÜLLER[2] versucht, die für die Intensitätsmessung verwendeten Formeln (Bd. 1, S. 485) in einer für diesen Zweck geeigneten Weise zu modificiren, ohne jedoch zu übereinstimmenden und befriedigenden Resultaten zu gelangen[3]. Dies erklärt sich zunächst wohl daraus, dass, wie früher (Bd. 1, S. 490) ausgeführt wurde, die Methode der r. und f. Fälle keine sichere Schwellenbestimmung zulässt, während vergleichbare Werthe des Präcisionsmaßes wegen der verschiedenen Unterscheidungsfähigkeit der einzelnen Hautstellen nicht oder doch erst auf Grund der schon bekannten Raumschwellen gewonnen werden könnten. Ueberhaupt begegnet aber die der früheren analoge Anwendung des GAUSS'schen Integrals auf diesen Fall dem Bedenken, dass es sich hier um Werthe einer extensiven Reizschwelle, nicht einer Unterschiedsschwelle handelt.

b. Physiologische Bedingungen der Raumschwelle. Die Empfindungskreise.

Jeden Hautbezirk, innerhalb dessen eine räumliche Scheidung verschiedener Eindrücke nicht mehr möglich ist, bezeichnet man nach einem von E. H. WEBER eingeführten Ausdruck als einen Empfindungskreis. Die ganze Oberfläche der Haut kann man sich demgemäß aus einer Menge von Empfindungskreisen bestehend denken, deren Größe entsprechend der extensiven Reizschwelle an den verschiedenen Stellen der menschlichen Haut etwa zwischen einem und 68 Millimetern variirt. Da sprungweise Aenderungen in der Fähigkeit der räumlichen Unterscheidung im allgemeinen nicht beobachtet werden, sondern die Raumempfindlichkeit innerhalb eines gegebenen Hautbezirks in der Regel constant bleibt, so nimmt man an, die einzelnen Empfindungskreise griffen dergestalt über einander, dass unendlich nahe der Grenzlinie eines ersten Kreises bereits die eines zweiten liege, u. s. w. (Fig. 238). Nun werden zwei Eindrücke so lange einfach empfunden werden, als die Distanz ab, die sie trennt, innerhalb eines Empfindungskreises liegt. Sie werden dagegen von

[1] G. TH. FECHNER, Abhandl. der sächs. Ges. d. Wiss. Math.-phys. Cl. Bd. 13, 1884, S. 111 f. Vgl. auch CAMERER, Zeitschrift für Biologie, Bd. 19, 1883, S. 1 ff.

[2] G. E. MÜLLER, PFLÜGERS Archiv, Bd. 19, 1879, S. 191 ff.

[3] Ueber die leitenden Gedanken dieser Berechnungen vgl. die 4. Aufl. dieses Werkes, Bd. 2, S. 12 f.

einander unterschieden werden, sobald sie um einen Zwischenraum *ac* von einander entfernt sind, der nicht mehr innerhalb eines einzigen Kreises Platz hat. Alle diese Kreise greifen nun, ähnlich wie dies in Fig. 238 für die horizontale Richtung dargestellt ist, in allen Richtungen über einander, so dass die Distanz von jedem Grenzpunkt eines Kreises zum Grenzpunkt eines nächsten gegen die Größe der Bezirke selber verschwindet. Nicht an allen Stellen der Haut kann man übrigens den Empfindungskreisen eine wirklich kreisförmige Gestalt zuschreiben. Meistens ist die Unterscheidungsfähigkeit in longitudinaler und querer Richtung verschieden, und zwar in der letzteren feiner als in der ersteren[1]. Hier müssen also Flächenstücke von längsovaler Form angenommen werden. Ferner zeigt der Durchmesser eines Empfindungskreises, wie schon WEBER beobachtete, einen plötzlichen Abfall, oder er wird sogar verschwindend klein, wenn man Hautgebiete, die zwei functionell gesonderten, aber räumlich dicht an einander grenzenden Organen zugehören, mit dem Cirkelversuch prüft, wie z. B. die beiden Lippen, oder die Beugeseite zweier Finger dies- und jenseits des Gelenks. Aehnliche Discontinuitäten geringeren Grades können auch noch durch andere Structurunterschiede entstehen. So fand CH. FÉRÉ, dass die Empfindungskreise kleiner erschienen, wenn die zwei Eindrücke in senkrechter Richtung auf den Verlauf der Epidermisleisten, als wenn sie parallel diesem Verlauf einwirkten[2].

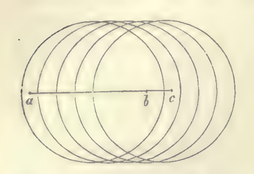


Fig. 238. Schema für das Uebereinandergreifen der Empfindungskreise.

Der Begriff des Empfindungskreises in dem von WEBER eingeführten und seitdem in der Physiologie festgehaltenen Sinne bezeichnet demnach in keiner Weise eine für irgend eine Hautstelle absolut feststehende oder auch nur eine in annähernd stetiger Weise von einer Hautstelle zur andern sich abstufende Raumgröße, und schon der Ausdruck »Kreis« ist insofern ein unzutreffender, als die sogenannten Empfindungskreise in den meisten Fällen gar keine wirklichen Kreise sind, sondern sich solchen höchstens an manchen Stellen annähern können. Will man also dem Begriff des Empfindungskreises überhaupt eine empirische Bedeutung anweisen, durch die er sich von dem der Raumschwelle unterscheidet, so wird das nur in der Weise geschehen können, dass man Empfindungskreise diejenigen Werthe der Raumschwelle nennt, die in der physischen Organisation der einzelnen Hautstellen begründet sind,

[1] WEBER, Annotationes anat. p. 49.
[2] CH. FÉRÉ, Compt. rend. de la soc. de biol. 1895, p. 675. Rev. philos. t. 41, 1896, p. 632.

und die daher den verschiedenen psychologischen Einflüssen, unter denen die Raumschwelle mannigfache Schwankungen zeigen kann, als die constanteren Bedingungen gegenüberstehen. In der That dürfte dies im allgemeinen der empirische Kern des von WEBER aufgestellten Begriffs der Empfindungskreise sein, wenn man von den mancherlei hypothetischen Elementen absieht, mit denen derselbe schon von WEBER und dann zum Theil noch mehr in den späteren physiologischen Arbeiten vermengt wurde.

Unter den Structurbedingungen der Haut, die für Größe und Gestalt der Empfindungskreise in diesem empirischen Sinne bestimmend sind, stehen nun die Verhältnisse der Nervenvertheilung und die Verbreitung besonderer Tastapparate oben an. Je reicher ein Hautbezirk an sensibeln Nerven ist, die sich in ihm ausbreiten, um so feiner ist in ihm die Unterscheidung. Hauptsächlich die nervenreichsten Theile sind außerdem mit Tastkörperchen, Endkolben u. s. w. versehen, durch die wahrscheinlich die Nerven den Druckreizen leichter zugänglich gemacht sind[1]. Werden zwei mit solchen Apparaten versehene Druckpunkte der Haut mit hinreichend punktförmigen Eindrücken getroffen, so werden diese auch, wie es scheint, räumlich gesondert aufgefasst. Darum bleiben, wie wir oben sahen, die auf solche Weise bestimmten Schwellenwerthe auf Druckpunkten stets erheblich unter dem Durchmesser der nach der Raumschwelle für ausgebreitetere Eindrücke bemessenen Empfindungskreise (S. 445). Doch sind jene Endgebilde keineswegs zur Localisation der Eindrücke unerlässlich, da Hauttheile, die derselben ganz entbehren, trotzdem zur räumlichen Unterscheidung befähigt sind. Für den entscheidenden Einfluss anderer, nicht ausschließlich an specifische Endorgane gebundener Bedingungen der Structur spricht endlich auch noch die Thatsache, dass an Hautnarben, deren Gewebe zwar sensible Nerven, aber keine Tastkörper führt, sowohl Druck wie Schmerz empfunden und localisirt werden. Allerdings ist die Localisation in solchen Fällen eine unbestimmtere als an den analogen Stellen des normalen Gewebes, und es fließen daher selbst bei ausgedehnten Hautnarben bei der Ausführung des WEBER'schen Cirkelversuchs die zwei Eindrücke meist in einen zusammen[2]. Doch unterscheidet sich auch hierin eine solche Narbenbildung durchaus nicht von andern normalen Hautstellen, die gleich ihr nur spärlich von Nerven versorgt werden. Zudem würde das Uebereinandergreifen der Empfindungskreise, wie es nothwendig vorausgesetzt werden muss, mit der Annahme von Tastorganen, die durch vollkommen unempfindliche

[1] Vgl. Bd. I, S. 398 ff.
[2] LUSSANA, Arch. ital. de biol., t. 9, p. 268.

Stellen getrennt wären, höchstens bei den durch großen Reichthum an Tastkörpern ausgezeichneten Theilen vereinbar sein. Auch die Verhältnisse der räumlichen Ordnung der Tastempfindungen weisen daher auf die Annahme hin, dass hier die Nervenfasern selber durch die auf sie einwirkenden Druckreize erregbar sind.

Die übrigen Structurverhältnisse, die neben der Nervenvertheilung die Druckempfindlichkeit bestimmen, wie namentlich die Dicke und die derbe oder weiche Beschaffenheit der Oberhaut, üben dagegen offenbar auf die Feinheit der Localisation keinen directen Einfluss aus. Hautstellen, die, wie Rücken und Wangen, wegen der Zartheit ihrer Oberhaut gegen schwache Reize sehr empfindlich sind, besitzen Empfindungskreise von bedeutender, andere, die durch derbere Structur ausgezeichnet sind, wie die Fingerspitzen, solche von sehr geringer Größe. Nicht minder ist als unmittelbare Folge der Abhängigkeit von der Nervenvertheilung wohl der Einfluss des Körperwachsthums zu betrachten. Bei Kindern sind, wie CZERMAK fand, die Empfindungskreise viel kleiner als bei Erwachsenen. Da sich nun die Gesammtzahl der Nervenfasern während des Wachsthums wahrscheinlich nicht erheblich ändert, so wird, je mehr durch das Wachsthum die Körperoberfläche zunimmt, der einer gegebenen Zahl von Fasern entsprechende Hautbezirk vergrößert. In der That beobachtet man einen ähnlichen Erfolg auch bei der Dehnung der Haut, z. B. in der Schwangerschaft, beim Druck von Geschwülsten, oder bei der Streckung eines beweglichen Körpertheils wie des Halses. In allen diesen Fällen vermindert sich je nach dem Grad der Dehnung in verschiedenem Maße die Feinheit der Ortsunterscheidung[1]. Auch die oben (S. 450) angeführte Beobachtung, dass an den meisten Stellen des Körpers in querer Richtung die Eindrücke deutlicher als in longitudinaler unterschieden werden, dürfte auf dieselbe Ursache zu beziehen sein. Fast an allen Theilen des menschlichen Körpers, namentlich aber am Rumpf und an den Extremitäten, überwiegt nämlich das Längswachsthum die Zunahme in den anderen Durchmessern[2]. Stellen wir uns demnach vor, die Empfindungsbezirke seien ursprünglich wirkliche Kreise gewesen, so müssten dieselben in Folge des Wachsthums in eine längsovale Form übergegangen sein.

---

[1] CZERMAK, Wiener Sitzungsber., 3, Bd. 15, 1855, S. 466, 487, und MOLESCHOTTS Untersuchungen, Bd. 1, S. 202. G. HARTMANN, Zeitschrift für Biologie, Bd. 11, 1875, S. 99. TEUFFEL, ebend. Bd. 18, 1882, S. 247. Uebrigens ist es wahrscheinlich, dass in allen diesen Fällen zugleich die stärkere Spannung der Haut die Localisationsschärfe beeinträchtigt. Auch fand G. HARTMANN bei der Streckung des Halses die Veränderung nur unbedeutend: sie betrug bloß 8 % des Normalwerthes. Die von E. SCHIMPF gemachte Beobachtung, dass an einem durch Anchylose des Kniegelenks atrophisch gewordenen Bein die Raumschwelle durchweg etwas kleiner war als auf der gesunden Seite, ist wahrscheinlich umgekehrt auf die Schrumpfung der Hautbezirke zu beziehen (SCHIMPF, Zeitschrift für Biologie, Bd. 17, 1881, S. 62 ff.).

[2] Vgl. die Tabellen bei HARLESS, Lehrbuch der plastischen Anatomie. Abth. 3, S. 192.

c. Veränderungen der Raumschwelle durch psychologische Bedingungen.

Gegenüber den im allgemeinen gleichförmigen oder gleichförmig nach bestimmten Gesetzen veränderlichen Organisationsbedingungen machen sich nun in mehr schwankender Weise andere Einflüsse geltend, die auf eine Mitwirkung psychologischer Factoren hinweisen. In erster Linie steht hier, noch theilweise hinüberreichend in das Gebiet physiologischer Verhältnisse, der Einfluss der Bewegung. Je vielseitiger und feiner die Bewegung eines Körpertheils ist, um so genauer geschieht die Localisation. Wahrscheinlich dürfen wir es schon hierauf zurückführen, wenn wir, wie aus der WEBER'schen Tabelle (S. 445) zu ersehen ist, die Raumunterscheidung am unvollkommensten auf jenen großen Flächen des Rumpfes finden, die keine Bewegung der Theile gegen einander zulassen, und unter den Abtheilungen der Extremitäten an den längsten, dem Oberschenkel und Oberarm; wogegen sie am feinsten an den außerordentlich beweglichen Finger- und Zehengliedern ist, namentlich an der Volarfläche, die vorzugsweise bei den Bewegungen zum Betasten der Gegenstände benützt wird[1]. Aber dieser letzterwähnte Punkt weist auch bereits auf Miteinflüsse hin, die es sehr unwahrscheinlich machen, dass zwischen der Beweglichkeit der Theile und der Feinheit der Ortsunterscheidung, abgesehen von dieser allgemeinen Abhängigkeit, irgend eine festere Beziehung aufzufinden sei[2]. Auch sind die beweglicheren Theile im allgemeinen zugleich diejenigen, die durch feinere Nervenvertheilung und zahlreichere Endorgane ausgezeichnet sind. Ebenso beruht es wohl auf einer Verbindung dieser Bedingungen, der Vertheilung der Tastnerven und des Einflusses der Bewegung, dass, wenn man zwei gegen einander bewegliche Körpertheile, z. B. die beiden Lippen oder die Haut an den beiden Grenzen eines Gelenkes, berührt, eine minimale Distanz noch erkannt werden kann[3].

Mit der Bewegung hängt der Einfluss der Uebung so nahe zusammen, dass beide kaum von einander zu sondern sind. Aus welchen

[1] VIERORDT, PFLÜGERS Archiv, Bd. 2, 1869, S. 297. Grundriss der Physiologie[5], S. 342.

[2] VIERORDT hat allerdings geglaubt, eine solche Beziehung nachweisen zu können, die er zu dem Gesetz formulirte, die Feinheit der Ortsunterscheidung sei proportional dem Abstand eines Hautbezirks von der Drehungsachse, um die der betreffende Körpertheil bewegt wird. An der oberen Extremität scheinen sich die Resultate am ehesten dieser Regel zu fügen. Doch sind schon hier an der Beugeseite des Glieds, vermuthlich wegen der mannigfachen beim Tasten stattfindenden Miteinflüsse, die Beziehungen zwischen Bewegungsgröße der Theile und Raumschwelle weniger deutlich. An der untern Extremität sowie an der Rumpf- und Kopfhaut geht zwar im allgemeinen die Empfindlichkeit der Beweglichkeit parallel, aber die Verhältnisse sind hier überall zu verwickelt, als dass an die Feststellung einer exacten Beziehung zu denken wäre.

[3] WEBER, Annot. anat. p. 60.

psychologischen Factoren die Vorgänge, die wir unter dem etwas vieldeutigen Namen »Uebung« verstehen, sich in diesem Fall zusammensetzen, wird erst später, bei dem Versuch einer Analyse der Entwicklungsbedingungen der Tastvorstellungen, zu erörtern sein. Hier mag der Ausdruck einstweilen gebraucht werden, um die Einflüsse zusammenzufassen, die eine häufige, mit möglichster Spannung der Aufmerksamkeit verbundene Wiederholung von Versuchen gleicher Art auf deren Resultate äußert. Die Uebung wird nun in diesem Sinne hauptsächlich durch fortwährende Tastbewegungen gefördert, und unbewegliche Theile sind der Uebung fast ganz unzugänglich. So beobachtet man, dass bei Blinden, deren Unterscheidung mittelst der Haut oft außerordentlich fein ist, doch hauptsächlich die beweglicheren tastenden Glieder an dieser Vervollkommnung theilnehmen[1]. Besonders bei Blindgeborenen scheint sich mit der Raumauffassung des Tastsinnes überhaupt auch die Schärfe der Localisation zu vervollkommnen: so z. B. in dem berühmten Fall der in frühester Lebenszeit erblindeten taubstummen Laura Bridgman[2].

Auch durch Versuche lässt sich ein solcher Einfluss der Uebung auf die Raumschwelle leicht feststellen. Dabei zeigt sich dann im allgemeinen, dass, je größer die bereits erworbene Vollkommenheit, um so weniger eine weitere Vervollkommnung möglich ist. So fand VOLKMANN, dass an der von Natur wenig geübten Haut des Ober- und Unterarms der Erfolg der absichtlichen Uebung weit bedeutender war als an der Volarseite der Fingerglieder. Auch bei verschiedenen Individuen wechselt der Einfluss der Uebung sowie die Geschwindigkeit, mit der sie sich geltend macht. Doch ist meist schon nach Versuchen von wenigen Stunden ein Grenzpunkt erreicht, der nicht mehr überschritten wird, weil in solchen

[1] CZERMAK, Wiener Sitzungsber. 3, Bd. 15, 1855, S. 482. GOLTZ, De spatii sensu cutis. Dissert. Königsberg. 1858. GÄRTTNER, Zeitschrift für Biologie, Bd. 17, 1881, S. 56. Uebrigens scheint eine besondere Verfeinerung der Raumschwelle durchaus nicht bei allen Blinden nachweisbar zu sein. Vgl. HOCHEISEN, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 5, 1893, S. 239. HELLER, Philos. Stud. Bd. 11, 1895, S. 237.

[2] Laura Bridgman, taubstumm geboren, erblindete zu Ende ihres zweiten Lebensjahres und verlor bald darauf in Folge einer Eiterung Geruch und Geschmack fast ganz. In der Blindenanstalt zu Massachussetts erzogen, erwarb sie sich nach den Berichten ihrer Lehrer und Besucher eine feine Bildung und die verschiedenartigsten Kenntnisse, in denen sie bei hervorragender Begabung und hoher Wissbegierde rasche Fortschritte machte. Obgleich sie die Wortsprache erlernte, so dachte und träumte sie doch in der Fingersprache. Starke Tonschwingungen nahm sie durch den Tastsinn der Füße wahr. Die Localisationsschärfe ihres Tastsinns übertraf nach den Beobachtungen von STANLEY HALL um das 2- bis 3fache die gewöhnliche. Man vergleiche über diesen und ähnliche Fälle BURDACH, Blicke ins Leben, Bd. 3, S. 12 ff., sowie die ebend. S. 301 angeführte Litteratur, speciell über Laura Bridgman G. STANLEY HALL, Mind, April 1879. W. JERUSALEM, Laura Bridgman. 1890, S. 31 ff. Auch bei Blindtauben sind übrigens Fälle beobachtet, wo die Raumschwelle gegenüber den normalen Verhältnissen Sehender nicht erheblich verändert war. Vgl. UHTHOFF, Ueber das Sehenlernen eines siebenjährigen Blindgeborenen. 1891, S. 54. JASTROW, Psychol. Rev. vol. 1, 1894, p. 356. (Mittheilungen über die Blindtaube Helen Keller.)

Fällen vorübergehender Versuchsübung die erworbenen Vortheile fast ebenso schnell wieder verloren gehen, als sie entstanden sind[1]. Auch wirkt, wenn man die Beobachtungen lange Zeit fortsetzt, die Ermüdung, die zum Theil in einer physiologischen Abstumpfung des Tastorgans, namentlich aber in der Abnahme der Aufmerksamkeit zu bestehen pflegt, den Einflüssen der Uebung entgegen[2]. Uebrigens beeinflusst die letztere, wie VOLKMANN fand, nicht nur die direct von den Tastreizen getroffene Hautstelle, sondern gleichzeitig die symmetrische Stelle der andern Körperhälfte, während sich dagegen auf asymmetrische Theile beider Seiten oder auf verschiedenartige einer Seite nur in sehr geringem Maße diese Wirkung erstreckt; am meisten ist sie noch an benachbarten Stellen zu erkennen. So gewinnen z. B. durch die Uebung eines Fingers auch die andern Finger der nämlichen Seite.

Mit den Wirkungen der Uebung stehen jene Einflüsse in naher Beziehung, welche die veränderte Empfindlichkeit des ganzen Tastorgans oder eines einzelnen Hautbezirks ausübt. Eine verminderte Empfindlichkeit, wie sie bei einem Druck auf die Hautnerven, z. B. beim sogenannten Eingeschlafensein der Glieder, oder bei der localen Anwendung anästhetischer und narkotischer Mittel, Aether, Chloroform, Morphium, beobachtet wird, ist stets mit einer Vergrößerung der Raumschwelle verbunden[3]. Dasselbe beobachtet man bei Rückenmarks- und Hirnaffectionen, welche theilweise Anästhesie der Haut im Gefolge haben[4]. Bei mäßiger Abnahme der Empfindlichkeit besitzen nur die Empfindungskreise einen größeren Umfang als im normalen Zustand, bei höheren Graden der Anästhesie finden meistens zugleich mehr oder weniger bedeutende Täuschungen über den Ort der Berührung statt. Namentlich

---

[1] VOLKMANN, Sitzungsber. der sächs. Ges. der Wiss. 1858, S. 38 ff.

[2] WUNDT, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, S. 37 ff.

[3] KREMER, PFLÜGERS Archiv, Bd. 38, 1883, S. 271. Das Morphium scheint sich nach diesen Versuchen von den eigentlich anästhetischen Mitteln (Aether, Chloroform) dadurch zu unterscheiden, dass bei den letzteren die Abnahme der Empfindlichkeit auf die betroffene Stelle beschränkt bleibt, während sie sich bei der subcutanen Injection des ersteren in mehr oder minder großem Umfange über die Injectionsstelle ausdehnt.

[4] BROWN-SÉQUARD fand in mehreren Fällen von Hyperästhesie, namentlich bei Herderkrankungen in den Hirnschenkeln und im Pons, dass die Patienten geneigt waren die Eindrücke zu vervielfältigen, also z. B. drei statt zwei Berührungen zu empfinden (Archives de physiol., t. 1, p. 461). Ich habe die nämliche Erscheinung auch bei Hyperästhesie in Folge von Rückenmarkserkrankungen sowie bei einem Patienten nach der Darreichung kleiner Dosen von Strychnin beobachtet. Sie beruht vermuthlich darauf, dass solche Kranke leicht ihre subjectiven Empfindungen mit dem äußeren Eindruck vermengen. Uebrigens findet es sich bei den oben (S. 446) erwähnten sogenannten Vexirversuchen, dass auch normale Individuen zuweilen zwei Eindrücke statt eines zu empfinden glauben, und zwar tritt dies nicht bloß bei unwissentlichem, sondern gelegentlich selbst bei wissentlichem Verfahren ein, d. h. wenn man weiß, dass thatsächlich nur ein Eindruck stattfand. (CAMERER, Zeitschrift für Biologie, Bd. 19, 1883, S. 297. G. TAWNEY, Philos. Stud. Bd. 13, 1898, S. 163 ff.)

beobachtet man, dass Eindrücke, die eine krankhaft unempfindliche Hautstelle treffen, an einen Ort verlegt werden, der im gesunden Zustand von geringerer Empfindlichkeit ist. Ein Patient z. B., der an Anästhesie der unteren Extremitäten leidet, kann Eindrücke auf den Unterschenkel oder Fuß an den Oberschenkel verlegen[1]. Ferner gehört hierher das bei hysterischen Sensibilitätsstörungen vorkommende Phänomen der sogenannten »Allocheirie«: ein Reiz auf Hand oder Arm wird an der symmetrisch gelegenen Stelle der andern Körperhälfte localisirt, — eine Erscheinung, die sichtlich an die oben erwähnte unwillkürliche Mitübung symmetrischer Stellen in VOLKMANNs Versuchen erinnert[2]. Auf ein Zusammenwirken von Sensibilitätsänderungen mit den Einflüssen der sogenannten Uebung ist endlich wohl die bei chirurgischer Transplantation von Hautstücken beobachtete allmähliche Veränderung der Localisation zu beziehen. Nach der Rhinoplastik aus der Stirnhaut z. B. verlegt der Patient zunächst noch die Eindrücke in die Stirngegend. Diese Täuschung macht aber sehr bald einer richtigen Localisation Platz, und nach einer kurzen Periode der Abnahme kann die transplantirte Hautstelle dieselbe Localisationsschärfe wieder erlangen, die sie auf ihrem Mutterboden besessen hatte[3].

Zu den angeführten psychologischen Einflüssen, die sich im wesentlichen ausschließlich im Functionsgebiet des Tastsinnes selbst bewegen, tritt nun endlich als ein Moment von hervorragender Bedeutung der Einfluss des Gesichtssinnes. Er ist in dem Obigen bei der Hervorhebung der Unterschiede zwischen dem Sehenden und dem Blinden bereits in dem Sinne hervorgehoben worden, dass der Mangel der Gesichtsvorstellungen eine ungewöhnlich hohe Ausbildung der Tastfunctionen zu begünstigen pflegt. Dem steht nun aber nicht minder bedeutsam der positive Einfluss gegenüber, den beim Sehenden und zumeist auch noch bei dem Blinden, der sich aus einer früheren sehenden Periode seines Lebens die Erinnerung an Gesichtsbilder bewahrt hat, der Gesichts- auf den Tastsinn ausübt. Dieser Einfluss lässt sich wohl am sichersten gerade bei den Tastversuchen nach der WEBER'schen Methode in der unmittelbaren Selbstbeobachtung constatiren, wenn man sich genau den Bewusstseins-

---

[1] WUNDT, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, S. 47.

[2] P. JANET, Nevroses et idées fixes, t. 1, 1898, p. 234 ff.

[3] STRANSKY, Sensibilitätsuntersuchungen an transplantirten Hautstücken. Wiener klinische Wochenschrift, 1899, Nr. 32 und 33. Zuweilen werden, indess stärkere Eindrücke schon richtig localisirt werden, schwache Reize noch an den früheren Ort des transplantirten Stücks verlegt, ein Unterschied, der wohl mit der überhaupt viel unbestimmteren Unterscheidung und Localisation sehr schwacher Reize zusammenhängt. So fanden schon A. FICK und WUNDERLI (MOLESCHOTTs Untersuchungen, Bd. 7, S. 393), dass leise Druckreize mit Wärmereizen verwechselt werden können; und ähnlich überzeugt man sich leicht an sich selbst von der überaus diffusen Localisation minimaler Reize.

vorgang bei einem solchen Cirkelversuch vergegenwärtigt. Man beobachtet dann, dass regelmäßig im Moment des Eindrucks ein blasses Erinnerungsbild der berührten Stelle auftaucht[1]. Dieses begleitende Bild ist natürlich um so deutlicher, je mehr die berührte Stelle auch sonst in unserem Gesichtskreise liegt. Gleichwohl fehlt es selbst da nicht, wo diese Bedingung nicht zutrifft. So ist z. B. die Berührung des Rückens, obgleich wir diesen direct niemals sehen, ebenfalls von einem solchen blassen Erinnerungsbilde begleitet; doch schiebt sich dabei, wie man bei aufmerksamer Selbstbeobachtung findet, in freilich ganz verschwimmenden Umrissen zugleich das irgend eines andern, hinter uns aufgestellten Beobachters ein, den wir unserem eigenen Sehen substituiren. Ich glaube nicht, dass diese begleitenden Gesichtsbilder irgend einem sehenden Menschen fehlen: wenn man bei Localisationsversuchen die Aufmerksamkeit der Beobachter auf sie lenkt, so erhält man sie ausnahmslos bestätigt. Aber auch den Erblindeten fehlen sie nicht, sofern der Zeitpunkt ihrer Erblindung nicht in eine frühere Zeit als etwa das vierte oder fünfte Lebensjahr fällt[2]. Im Gegentheil scheint es, dass der Blinde in Folge der intensiveren Spannung der Aufmerksamkeit auf seine Tasteindrücke meist lebhafter als der Sehende jene Erinnerungsbilder reproducirt, deren räumliche Eigenschaften sich unbegrenzt zu erhalten scheinen, wenn auch ihre Farben im Laufe der Zeit allmählich verblassen. Dieser Einfluss begleitender Gesichtsvorstellungen spricht sich nun aber weiterhin auch darin aus, dass die nach irgend einer der obigen Methoden bestimmte Raumschwelle in Folge der Versuchsübung bei sonst gleichen Bedingungen rascher abnimmt, wenn diese Uebung durch begleitende Gesichtswahrnehmungen unterstützt wird, als wenn der Tastsinn auf sich selbst angewiesen bleibt. Zugleich zeigen sich jedoch dabei nach den Beobachtungen von M. F. WASHBURN individuelle Unterschiede, die mit der verschiedenen »visuellen« Anlage der Personen, d. h. mit ihrer Fähigkeit mehr oder minder lebhafte Erinnerungsbilder zu erneuern, zusammenzuhängen scheinen[3]. Solche individuelle Unterschiede fand auch PILLSBURY,

---

[1] WUNDT, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, 1. Abh. 1858, S. 60. Vorlesungen über die Menschen- und Thierseele[1], Bd. 1. 1863, S. 258.

[2] TH. HELLER, Studien zur Blinden-Psychologie. Philos. Stud. Bd. 11, 1895, S. 227.

[3] M. F. WASHBURN, Philos. Stud. Bd. 11, 1895, S. 190 ff. Auch die von VOLKMANN zuerst beobachtete unwillkürliche Mitübung der symmetrischen Hautstellen der gegenüberliegenden Seite (S. 455) wird von Miss WASHBURN auf visuellen Einfluss zurückgeführt, da sie bei Wiederholung der Versuche unter Ausschluss des Gesichtssinnes und bei Blinden diese Mitübung nicht beobachten konnte. Die Allgemeingültigkeit dieses Resultates möchte ich jedoch bezweifeln, da VOLKMANN selbst aller Wahrscheinlichkeit nach die WEBERschen Versuche nicht anders ausgeführt hat, als dies in der Regel zu geschehen pflegt, nämlich unter Ausschluss des Gesichtssinns. Die längsovale Beschaffenheit der sogenannten Empfindungskreise, die WASHBURN aus den Eigenschaften der Gesichtsbilder erklärt, hängen dagegen, wie oben bemerkt, wahrscheinlich mit den Wachsthumsverhältnissen zusammen (S. 452).

als er Localisationsversuche in der Weise vornahm, dass er bei abgewandtem Auge des Beobachters nur eine Hautstelle berührte und dann auf einer lebensgroßen Photographie des Körpertheils die berührte Stelle bezeichnen ließ[1].

2. Wahrnehmungen der Gröfse und Gestalt der Objecte.

a. Die Tastwahrnehmungen Sehender.

Auf der Localisation der Tastempfindungen beruht unmittelbar die Fähigkeit des Tastorgans, Vorstellungen von der Ausdehnung und Gestalt der berührenden Objecte zu vermitteln. Dies kann aber wieder auf doppelte Weise geschehen: entweder indem ein Object auf das ruhende Tastorgan einwirkt, oder bei gleichzeitiger Ausführung von Tastbewegungen. Wir wollen das erstere der Kürze wegen als die passive, das letztere als die active Tastwahrnehmung bezeichnen.

Unter ihnen bildet die passive Tastwahrnehmung einen Grenzfall, der in der Wirklichkeit, wo der Tastende wenn immer möglich seine Bewegungen zu Hülfe nimmt, sehr selten vorkommt. Die einfachste Vorstellung einer passiv wahrgenommenen tastbaren Strecke besteht aber in jener Vorstellung der Entfernung zweier berührender Punkte von einander, wie sie bei dem WEBER'schen Fundamentalversuch die Unterscheidung der Eindrücke begleitet. Eine solche Entfernungsvorstellung kann naturgemäß erst entstehen, wenn die extensive Schwelle erreicht oder überschritten ist; von da an ist sie dann, wie schon oben bemerkt wurde, keineswegs der Localisationsschärfe proportional, sondern, sobald Eindrücke von einer bestimmten Distanz überhaupt unterschieden werden, erscheinen sie an den verschiedenen Hautstellen in annähernd gleicher räumlicher Entfernung. In höherem Grade ist die Auffassung der Gestalt der Objecte von der Localisationsschärfe abhängig. Schneidet man z. B. aus Pappe eine größere Zahl kreisförmiger und quadratischer Scheiben von verschie-

---

[1] PILLSBURY, Amer. journ. of Psychol. vol. 7, 1895, p. 42. Der nämlichen Methode hatte sich zuvor schon und dann auch in späteren Versuchen, in denen er statt der Photographien plastische Gypsmodelle der Körpertheile anwandte, V. HENRI bedient (Arch. de physiol. 1893, p. 619. Ueber die Raumwahrnehmungen des Tastsinns. 1898). Abgesehen von dem Hinweis auf die verschiedene Lebhaftigkeit der visuellen Erinnerungsbilder, die sich aus den Resultaten von PILLSBURY zu ergeben scheint, steht übrigens diese Methode unter zu complicirten Bedingungen, als dass sie auf irgend welche den Tastsinn selbst betreffende Fragen eindeutige Antworten gestattete. Wenn z. B. HENRI fand, dass die Eindrücke in der Uebertragung auf das Gesichtsbild regelmäßig in der Richtung gewisser Hautfalten verschoben wurden, so beruht dieses Ergebniss aller Wahrscheinlichkeit nach darauf, dass an jedem Gesichtsobject die Conturen oder sonstige ausgezeichnete Stellen zuerst fixirt werden. (Vgl. unten Cap. XIV.) Mit den Eigenschaften des Tastsinns hat also diese Erscheinung schwerlich irgend etwas zu thun.

dener Größe, so findet man, dass dieselben bei einem um so kleineren Durchmesser unterschieden werden, je feiner die Ortsempfindlichkeit der betreffenden Hautstelle ist. Alle diese räumlichen Wahrnehmungen bleiben jedoch sehr unvollkommen. Eine genaue Auffassung der Form und Größe ist völlig unmöglich. Quadrate und Kreise können selbst bei einer die Raumschwelle weit übersteigenden Größe nicht unterschieden werden; und die Unterschiede linearer Strecken oder der Durchmesser berührender Flächen können zwar schon diesseits der Raumschwelle die Vorstellung abweichender Größe hervorbringen, doch bleiben auch hier die Unterscheidungen unbestimmt, und die Begrenzungen der Linien oder Flächen erscheinen unsicher, sehr verschieden von dem sehr bestimmten Eindruck, den z. B. die Zweiheit der Cirkelspitzen bei dem WEBER'schen Versuch macht[1].

Entsprechend dieser Unbestimmtheit des Eindrucks, den ausgedehnte Flächen oder Strecken hervorbringen, beobachtet man ferner, dass, so bestimmt nach Ueberschreitung der Raumschwelle bei der Einwirkung punktförmiger Eindrücke die Vorstellung der räumlichen Sonderung derselben ist, so unbestimmt die ihrer Distanz und Richtung bleibt. Sehr auffallend tritt dies hervor, wenn man einem Beobachter die Aufgabe stellt, beim WEBER'schen Versuch den auf Grund der bloßen Tastwahrnehmung gewonnenen Distanzeindruck in ein äquivalentes Gesichtsbild zu übertragen, also etwa in Distanzen eines zweiten Stangencirkels anzugeben. Man erhält dann im allgemeinen sehr unsichere und schwankende Angaben, welche nur darin übereinstimmen, dass der Tasteindruck bei dieser Uebertragung in ein Gesichtsbild stets erheblich verkleinert erscheint[2]. Dies hängt jedenfalls damit zusammen, dass das Erinnerungsbild, das wir von unserem eigenen Körper und seinen Theilen in uns tragen, wie die Selbstbeobachtung lehrt, überhaupt ein mehr oder minder verkleinertes Bild ist, was wahrscheinlich wiederum dadurch bedingt wird, dass die Associationen, die in uns bereit liegen, in weitaus überwiegender Zahl die menschliche Gestalt in verkleinertem Maßstabe enthalten, indem

---

[1] HOFFMANN, Stereognostische Versuche. Diss. Straßburg. 1883. EISNER, Beurtheilung der Größe und Gestalt von Flächen. Diss. Erlangen. 1888. JUDD, Philos. Stud. Bd. 12, 1896, S. 409 ff. EISNER fand die relative Schwelle der Unterscheidung des Durchmessers kreisförmiger Flächen am Rücken 2 : 25 mm, am Handrücken 2 : 6 mm; JUDD bei linearen Eindrücken in der Mitte der Volarseite des Vorderarms die absolute Schwelle für die Unterscheidung der Strecke vom Punkt 6—12 mm. Wie man sieht, liegen diese Werthe erheblich unter der WEBER'schen Raumschwelle (vgl. oben S. 445). Dagegen ist die Unterscheidung hier, sobald die Schwelle erreicht ist, eine viel bestimmtere und deutlichere. Dies spricht sich auch darin aus, dass, wie JUDD fand, die Strecken erheblich größer, = 28—48 mm, genommen werden mussten, wenn außerdem auch die Richtung unterschieden werden sollte.

[2] WUNDT, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, S. 34 ff. Die gleiche Thatsache ist auch von JASTROW (Mind, vol. 11, 1883, p. 539) bemerkt worden.

sie sich theils auf wirkliche Menschen, die wir aus der Entfernung beobachten, theils wohl auch auf geläufige Abbildungen von solchen beziehen. Auf solche Weise bestätigt diese Erscheinung die oben (S. 457) angeführte Beobachtung, dass bei einem Eindruck auf die Haut, z. B. bei dem WEBER'schen Versuch, regelmäßig ein visuelles Erinnerungsbild der getroffenen Hautstelle in unserem Bewusstsein auftaucht. Neben den erwähnten, constanten können aber endlich noch andere, variablere Bedingungen unsere Auffassung der Tastobjecte bestimmen. So erscheint eine und dieselbe Distanz bei stärkerer Berührung größer als bei schwacher Berührung; und ein unmittelbar vorangegangener Eindruck verändert den ihm nachfolgenden durch Contrast: er lässt ihn, wenn er größer ist, kleiner, wenn er kleiner ist, größer erscheinen, als derselbe ohne den vorangegangenen Eindruck erscheinen würde[1].

Weit vollkommenere Vorstellungen von Gestalt und Größe der Objecte gewinnen wir durch die activen Tastwahrnehmungen, bei denen zu den äußeren alle jene inneren Tastempfindungen hinzukommen, die in ihrer allgemeinen Bedeutung für den Tastsinn schon in Cap. X erörtert wurden. Abgesehen von der größeren Unterscheidungsschärfe, die dieselben vor den äußeren Tastempfindungen voraus haben, kommt hierbei namentlich in Betracht, dass jene es gestatten, die Hautstellen von der größten Localisationsschärfe, wie die Fingerspitzen, successiv mit den einzelnen Theilen eines ausgedehnten Objectes in Berührung zu bringen. Darum ist das nächste und wichtigste Tastorgan die Hand, an welcher Daumen, Zeige- und Mittelfinger wiederum als die Haupttastorgane wirken. Mit Daumen und Mittelfinger umfassen wir kleinere Objecte und gewinnen so gleichzeitig durch den passiven Tasteindruck die Vorstellung ihrer Festigkeit, und durch die active Convergenzbewegung beider Finger die ihres Durchmessers; der Zeigefinger tritt dann für die Auffassung feinerer Unterschiede oder zum Zweck der Fixirung eines dritten Tastpunktes in Action. Ein Umgreifen des Gegenstandes mit der ganzen Hand liefert endlich unter Umständen noch weitere charakteristische Punkte. Auch bei diesem activen Tasten der Hand zeigt es sich aber, dass der Tastsinn, wie er schon bei der passiven Wahrnehmung vornehmlich auf die Unterscheidung distincter punktförmiger Eindrücke angelegt ist, so auch bei der Tastbewegung immer aus vereinzelten mehr oder weniger punktförmigen Druckempfindungen und den mit ihnen verbundenen inneren Lageempfindungen die Vorstellung eines ganzen Körpers zusammensetzt. Da dies bei einem einmaligen Umgreifen des Gegenstandes nur höchst

[1] WUNDT, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, S. 35 ff. Der zuletzt erwähnte successive Contrast ist auch von CAMERER bestätigt worden (Zeitschrift für Biologie, Bd. 19, 1883, S. 281).

unvollkommen geschehen kann, so tritt dann zugleich die Bewegung in der Weise ergänzend ein, dass sie eine Reihe successiver Eindrücke hervorbringt. So ist es schließlich nur ein sehr grobes, durch viele leere Zwischenräume unterbrochenes Mosaik von Eindrücken und von successiven Combinationen solcher, aus denen sich in unserem Bewusstsein die Vorstellung des betasteten Gegenstandes, falls wir diesen nicht gleichzeitig sehen, aufbaut. Gleichwohl ist in allen diesen Fällen die Vorstellung selbst weder eine lückenhafte noch eigentlich eine successive, sondern wir formen uns, wenn auch oft erst nach einigen zuvor ausgeführten Tastbewegungen, ein in dem Moment, wo es entsteht, simultanes Bild des Gegenstandes. Dabei zeigt aber die aufmerksame Selbstbeobachtung, dass dieses Bild in der That im eigentlichsten Sinne ein Bild ist. Denn mit den äußeren und inneren Tastempfindungen verbindet sich unmittelbar ein blasses Gesichtsbild des Gegenstandes, ein Erinnerungs- oder Phantasiebild, welches die Lücken der Tasteindrücke ausfüllt, so dass die Vorstellung als Ganzes betrachtet überhaupt nur eine aus reproductiven Elementen zusammengesetzte Gesichtsvorstellung ist, die an einzelnen Stellen durch die Verbindung mit Tastempfindungen stärker gehoben wird. Auch bei solchen activen Tastwahrnehmungen, bei denen wir außer der Hand noch weitere bewegliche Körpertheile, namentlich die Arme zu Hülfe nehmen, wie dies bei der Auffassung sehr großer Gegenstände geschehen kann, oder bei den tastenden Bewegungen der Füße, welche die Gehbewegungen begleiten, verhält sich dies nicht anders. In allen Fällen bleibt beim Sehenden der Tastsinn ein unselbständiger Sinn, der auch da, wo er ausnahmsweise einmal auf sich allein angewiesen scheint, wie beim Tasten in der Finsterniss, doch den Gesichtssinn zu Hülfe nimmt, indem er die zerstreuten Tasteindrücke samt den Lage- und Bewegungsempfindungen der tastenden Glieder immer erst durch die Uebertragung in ein, wenn auch noch so unbestimmtes und schattenhaftes Gesichtsbild zu einem Ganzen zusammenfügt. Dabei ist übrigens nicht zu vergessen, dass, wenn wir von einer wechselseitigen Hülfe zunächst der äußeren und der inneren Tastempfindungen und dann der Tast- und Gesichtseindrücke reden, selbstverständlich hier von Absicht und Willkür oder von irgend einer Ueberlegung absolut nichts zu finden ist; sondern die Vorstellung entsteht, wenn sie sich auch nachträglich mehr verändern und vervollständigen kann, doch im ganzen ebenso unmittelbar wie eine gewöhnliche Gesichtswahrnehmung.

Höchst bezeichnend für diesen associativen Charakter der activen Tastvorstellungen und zugleich belehrend in Bezug auf die bei ihrer Entstehung zusammenwirkenden Elemente sind gewisse Erscheinungen, die man ihrer allgemeinen Richtung nach zu den »Sinnestäuschungen« zählen

kann, die aber, wie so manche andere Sinnestäuschungen, eben nur eine an sich normale Function unter etwas ungewöhnlichen oder irgendwie abgeänderten Bedingungen illustriren. In erster Linie gehört hierher die von E. H. WEBER hervorgehobene Thatsache, dass man beim Tasten mit einem Stock nicht nur in der den Stock haltenden und wirklich empfindenden Hand, sondern auch an der Spitze des Stocks selbst, da wo dieser auf einen festen Gegenstand gestoßen wird, eine Empfindung zu haben glaubt[1]. Beachtet man die begleitenden Umstände dieses Versuchs näher, so bemerkt man aber, dass es sich hier eigentlich nur um eine verschiedene Vertheilung der bei jeder Tastwahrnehmung verbundenen Tast- und Sehbestandtheile handelt. In der Hand hat man bloß die Tastempfindung. Doch tritt diese in solchem Fall sehr im Bewusstsein zurück, und als begleitendes Gesichtsbild erscheint nicht, wie sonst, die vom Tasteindruck direct getroffene Stelle der Hand, sondern das mit dem Stock betastete Object. Man könnte also sagen: man tastet in diesem Fall an der Stelle, die den Stock hält, man sieht aber im ergänzenden Phantasiebild die Stelle der äußeren Berührung. Aehnlich wie bei dem Tasten mit dem Stock verhalten wir uns beim Schreiben, Zeichnen, Malen und bei der Arbeit mit jedem beliebigen andern von der Hand beherrschten Werkzeug, wie Hammer, Bohrer, Säge u. s. w., oder auch bei der Berührung der Gegenstände mit den an sich unempfindlichen Anhangsgebilden der Haut, den Zähnen, Nägeln, Haaren. Je complicirter die ausgeführte Bewegung ist, um so deutlicher pflegt im allgemeinen auch bei weggewandtem Auge das begleitende Gesichtsbild zu sein. Besonders deutlich ist dieses außerdem dann, wenn das von der Hand geführte Werkzeug zugleich zum Messen der Entfernung dient: so z. B. wenn man im Finstern durch Tasten mit dem Stock die Annäherung an eine Wand zu bestimmen sucht. An diese Projectionstäuschungen reiht sich ein alter Versuch an, vielleicht das älteste psychologische Experiment, das wir kennen. Es wird in den aristotelischen »Problemen« beschrieben und rührt also wahrscheinlich entweder von ARISTOTELES selbst oder von einem Mitglied seiner Schule her[2]. Man nehme eine kleine Kugel und kreuze auf ihr Mittel- und Zeigefinger einer Hand in der in Fig. 239 dargestellten Weise, so dass die bei gewöhnlicher Lage von einander


Fig. 239. Aristotelischer Versuch.

[1] E. H. WEBER, Tastsinn und Gemeingefühl, S. 483.
[2] ARISTOTELES, Problemata, 35, 10.

abgekehrten Fingerränder einander zugekehrt sind: man hat dann die Vorstellung, zwei Kugeln statt einer zu berühren, ganz so wie das bei gleicher Beschaffenheit der Eindrücke der Fall sein müsste, wenn die Finger ihre normale Lage besäßen. Man fasst also die Eindrücke bloß nach Maßgabe der Tastempfindungen, ohne Rücksicht auf die in diesem Fall abweichenden Lageempfindungen auf. Die nähere Verfolgung der Erscheinung lehrt aber, dass offenbar auch hier die begleitende Gesichtsassociation die Hauptrolle spielt, und dass sie es wahrscheinlich ist, welche die wirklich vorhandene Lageempfindung nicht zur Geltung kommen lässt. Ist nämlich bei ruhender Berührung, wie gewöhnlich, der Eindruck der doppelten Kugel undeutlich, so braucht man diese nur unter den Fingern etwas hin und her zu rollen, um ihn sofort in voller Deutlichkeit zu gewinnen. Dabei tritt dann aber auch stets das Gesichtsbild eines die beiden Scheinkugeln trennenden Einschnitts klar in das Bewusstsein[1].

Wie in diesen Fällen das associirte Gesichtsbild die Vorstellung des Tastsinns hervorruft oder mindestens begünstigt, so kann nun aber auch umgekehrt eine solche Tasttäuschung von den ursprünglichen Componenten des Tastsinnes selbst ausgehen, um dann auf das associirte Gesichtsbild in entsprechendem Sinne zu wirken. Man versehe z. B. ein flaches Lineal von etwa 1/2 Meter Länge in der Mitte mit einer Theilungsmarke und

---

[1] Noch eine andere zuerst von E. H. Weber gemachte Beobachtung dürfte zum Theil wenigstens auf diesen Einfluss der Gesichtsassociationen zurückzuführen sein. Wenn man einer Versuchsperson einen Buchstaben in großen Zügen auf die Haut schreibt, so ist die Stellung, in welcher der Buchstabe am leichtesten erkannt wird, mit der Hautstelle veränderlich. Auf dem Hinterkopf muss er nach Weber die gewöhnliche Schriftlage haben (z. B. ⌊⌋), auf der Stirn muss er aufrecht, aber in umgekehrter Schriftlage (⌊⌋), auf dem Kreuzbein wieder in gewöhnlicher Lage, aber das obere Ende nach unten gekehrt (⌈⌉), und endlich auf dem Bauche muss er in doppeltem Sinne verkehrt stehen (⌈⌉). (Weber, Sitzungsber. der sächs. Ges. der Wiss. Math.-phys. Cl. 1852, S. 98.) Diese Beobachtungen Webers bestätigen sich im ganzen, wenn man sich die Buchstaben auf die eigene Haut schreibt. Doch treten zuweilen schon hier, und noch mehr, wenn Schreibender und Lesender verschiedene Personen sind, Abweichungen hervor, die übrigens individuell constant zu sein pflegen. Nach Versuchen, die Herr Dr. W. Churchill theils im psychologischen Laboratorium theils in der Blindenanstalt zu Leipzig ausgeführt hat, lesen alle Individuen auf der Rückseite des Körpers (Hinterkopf, Nacken, Rücken u. s. w.), vom Standpunkt des Schreibenden betrachtet, in richtiger Schriftlage (⌊⌋), auf der Vorderseite (Stirn, Wangen u. s. w.) lesen die meisten in Spiegelschrift (⌊⌋), einige aber richtig; endlich am Bauch und an der Vorderseite der unteren Extremitäten liest ungefähr die Hälfte der Personen in Spiegelschrift und umgekehrt zugleich (⌈⌉). In letzterer Beziehung bilden jedoch die Blindgeborenen eine Ausnahme, die fast alle auch hier aufrecht lesen (unter 8 nur ein einziger umgekehrt). Diese Beobachtungen zeigen deutlich, dass hier eine zwiefache Association wirksam sein kann: entweder liest man, indem man sich auf den Standpunkt des Schreibenden versetzt: so am Hinterkopf, Rücken u. s. w.; oder vom eigenen Standpunkt aus: so in Concurrenz mit der vorigen Association an der Vorderseite des Körpers, wo dann der Lesende diesen seinen Standpunkt in das Innere seines Körpers verlegt. Diese wechselnden Beziehungen auf den fremden und auf den eigenen Standpunkt bestehen dann wahrscheinlich sowohl in Associationen mit den Schreibebewegungen wie mit Gesichtsbildern. Für den Einfluss der letzteren beim Sehenden spricht namentlich das seltene Vorkommen der umgekehrten, zumeist vom eigenen Augenpunkt des Lesenden abhängigen Schriftlage bei Blinden.

theile dann die eine Hälfte der Kante durch ganz schwache Einkerbungen, über die der Finger ohne irgend eine Hemmung gleiten kann, in 2—3 cm Abstand. Bewegt man jetzt den Finger das ganze Lineal entlang continuirlich, so erscheint die getheilte Hälfte größer, und die Versuchsperson sieht dieselbe ebenso in der begleitenden Gesichtsassociation, auch wenn sie das Lineal selbst zuvor nicht wirklich gesehen hat[1]. Aber nicht bloß die Bewegungs-, auch die in Cap. X erörterten Kraftempfindungen können zusammen mit den intensiven Variationen der Druckempfindung die Raumauffassungen vermöge jener Wechselbeziehungen verändern, die sich bei Lähmungszuständen der Bewegungsorgane so auffallend geltend machen (S. 26 ff.), und die im normalen Zustand unter geeigneten Bedingungen analoge Sinnestäuschungen herbeiführen können. Belehrend ist hier folgender Versuch. Man lasse sich drei Würfel von genau gleicher Größe, aber aus verschiedenem Material, von etwa je 4 cm Kantenlänge anfertigen: den ersten aus steifem Carton, den zweiten aus leichtem Holz, den dritten aus Messing. Umfasst man nun successiv jeden der Würfel, ohne ihn zu heben, indem man ihn mit Daumen und Mittelfinger im horizontalen Durchmesser umspannt, so gewinnt man den Eindruck, dass die drei Würfel von verschiedener Größe seien: der Cartonwürfel erscheint am kleinsten, dann kommt der Holz- und zuletzt erst der Metallwürfel. Je härter das Material, um so größer erscheint also der Gegenstand. Zugleich ist diese Vorstellung unmittelbar mit der andern eines sehr verschiedenen Gewichts der drei Würfel verbunden, obgleich der Würfel nur berührt, nicht gehoben wird. Beide Täuschungen erklären sich unmittelbar aus den associativen Beziehungen der Wahrnehmungscomponenten. Je härter der Gegenstand ist, den wir betasten, um so schwerer, und je schwerer, um so größer pflegt er bei gleicher Form zu sein. Wir associiren also mit der stärkeren Druck- die intensivere Kraftempfindung, und mit dieser associirt sich dann die Vorstellung eines umfangreicheren Objectes. Diese letztere gehört aber, wie die Selbstbeobachtung deutlich zeigt, abermals nicht dem Tastsinne selbst an, sondern sie beruht auf einem dunkeln Gesichtsbild, das durch die Tastempfindungen geweckt wird.

Aus allen diesen Erscheinungen erhellt, dass die Raumvorstellungen des Tastsinnes keineswegs unmittelbare Producte der Einwirkungen äußerer Eindrücke auf das Tastorgan sind, sondern dass sie aus einem Zusammenwirken mannigfacher Factoren hervorgehen, unter denen beim Sehenden ganz besonders die Gesichtsvorstellungen eine entscheidende

---

[1] Ebenso beobachtete Parrish (Amer. journ. of Psychol. vol. 6, 1893, p. 514 ff.), dass eine lineare Strecke länger erschien, wenn ein stärkerer Druck ausgeübt wurde. Dagegen fand derselbe, dass die Distanz zweier durch einen leeren Raum getrennter Punkte größer erschien als eine gleiche ausgefüllte Distanz.

Rolle spielen. Dadurch wird nun zugleich die Frage nahe gelegt, wie sich der Tastsinn in solchen Fällen verhält, wo dieser Einfluss des Gesichtssinns zurücktreten oder ganz verschwinden muss: beim Blinden.

b. Die Tastwahrnehmungen Blinder.

Man pflegt es als eine ausgemachte Sache zu betrachten, dass beim Blinden der Tastsinn den fehlenden Gesichtssinn ersetzen müsse, und dass er dazu zwar keineswegs vollständig, aber doch in Folge der weit vollkommeneren Uebung, die er erfahre, wenigstens annähernd im stande sei. Diese Meinung ist jedoch keineswegs zutreffend. Sie unterschätzt die Unterstützung, die dem Tastsinn gerade da, wo der Gesichtssinn fehlt, von andern Sinnen, vor allem von dem Gehörssinn zu theil wird; und sie überschätzt die Wirksamkeit der natürlichen Motive, die auf den Tastsinn vervollkommnend einwirken können. In ersterer Hinsicht ist nicht zu übersehen, dass die Blinden selbst, sobald sie fähig sind, genauere Rechenschaft über sich zu geben, ausnahmslos das Gehör als denjenigen Sinn bezeichnen, mit dessen Hülfe sie sich im Raum orientiren. In letzterer Hinsicht ist es beachtenswerth, dass erst die Erziehung des Blinden von frühe an auf eine feinere Ausbildung des Tastorgans ausgeht, weil er dieser vor allem bedarf, um zu mechanischen Arbeiten sowie zum Lesen und Schreiben der Blindenschrift befähigt zu werden[1]. Auch wo diese vollkommenere Ausbildung des Tastorgans durch Erziehung und eigene Uebung entsteht, bewegt sie sich aber zwischen verhältnissmäßig engen Grenzen. Der Blinde erreicht durch solche Uebung nicht mehr, als der Sehende bei gleichem Aufwand an Mühe erreichen könnte; und an sich ist es nicht sowohl das Sinnesorgan selbst, das sich vervollkommnet, als die besondere Richtung der Aufmerksamkeit und die dadurch vermittelte genauere Auffassung von Unterschieden, die auch in der Tastwahrnehmung des Sehenden nicht fehlen, und nur unter dem dominirenden Einflusse des Gesichtssinnes weniger beachtet werden.

Hiernach vollziehen sich denn auch die Tastwahrnehmungen des Blinden durchaus nicht anders als die des Sehenden. Nur ist naturgemäß der Tastsinn des ersteren, namentlich in Bezug auf die active Seite der Tastfunctionen, ungleich thätiger, wobei er übrigens die Signale, die seine Aufmerksamkeit auslösen und die Tastfunctionen anregen, in der Regel vom Gehör empfängt. Schalleindrücke verrathen ihm zunächst die Nähe von Personen und Gegenständen, mit denen er sich dann durch actives Tasten in nähere Beziehung setzt. Dies geschieht aber im wesentlichen

[1] Th. Heller, Studien zur Blindenpsychologie. Philos. Stud. Bd. 11, 1895, S. 235 ff.

ganz wie beim Sehenden, wo dieser etwa aushülfsweise das Tasten anwendet: durch Betasten mit dem Finger, durch Umfassen mit der Hand, oder endlich durch Benutzung äußerer Tastmittel, wie des Stocks, und durch jene mannigfachen Bewegungen der Arme, der Füße, die eine umfangreichere, und freilich auch viel unbestimmtere Orientirung bewirken können, als es jene specielleren Tastorgane in ihrem engeren Bezirk thun. Besonders bei diesen begrenzteren und feineren Tastbewegungen fallen zugleich die überaus schnellen, meist nur leise über die Gegenstände hinstreichenden Bewegungen der tastenden Finger auf, die man wegen ihres scheinbar unwillkürlichen, reflexartigen Charakters als »Tastzuckungen« bezeichnet hat[1]. Sie sind gleichwohl offenbar keine ursprünglichen Reflexe, sondern sie scheinen aus willkürlichen Bewegungen hervorzugehen, die namentlich der mit feineren Arbeiten beschäftigte Blinde ausführt, und die allmählich mechanisch eingeübt werden, so dass sie nun reflexartig eintreten, wo immer durch die Einwirkung äußerer Tastobjecte Anlass dazu gegeben ist.

Ist in allem dem ein wesentlicher Unterschied zwischen den Tastfunctionen des Blinden und des Sehenden, abgesehen von der theils durch die Noth erzwungenen theils durch specifische Erziehungs- und Unterrichtseinflüsse bewirkten Uebung des Tastorgans, nicht aufzufinden, so verhalten sich endlich beide auch darin ähnlich, dass bei dem Blinden, sofern die Erblindung nicht vor die oben (S. 457) erwähnte Grenze des vierten oder fünften Lebensjahres fällt, Gesichtsassociationen fortan die Tasteindrücke begleiten. Der Raum, in dem sich der Erblindete bewegt, auf den er alle seine Tasteindrücke und seine Bewegungen zurückbezieht, bleibt so der Gesichtsraum. Nur sind natürlich die Gesichtsbilder um so unbestimmter, sie entfernen sich um so mehr von den wirklichen Dingen, um sich an zufällige Erinnerungen aus früherer Lebenszeit zu heften, je länger die Erblindung gedauert hat. Wenn ihm eine neue Person oder Sache entgegentritt, so associirt daher der Blinde irgend ein anderes, seinem früheren Leben angehöriges oder aus mehreren früheren Eindrücken zusammengesetztes Gesichtsbild, von dessen Ursprung er sich oft gar keine Rechenschaft geben kann. Manchmal ist es der Name oder das aus der Erinnerung bekannte Schriftbild des Anfangsbuchstabens dieses Namens, manchmal der Klang der Stimme oder auch ein ganz zufälliger begleitender Umstand, der zum ersten Mal die Association auslöst, die sich dann allmählich befestigt[2]. Man hat solche beliebig associirte Vor-

[1] CZERMAK, Sitzungsber. der Wiener Akad., 3, Bd. 17, 1855, S. 578 ff.

[2] Ein in früher Lebenszeit erblindeter junger Mann erzählte mir, einen Bekannten, dessen Name mit dem Buchstaben V anfange, pflege er sich als geharnischten Ritter mit geschlossenem Visir vorzustellen, weil das V ihn an das Visir eines solchen Ritters in dem Bilderbuch seiner Kinderzeit erinnere.

stellungen der Blinden »Surrogatvorstellungen« genannt[1]. Der Name ist insofern passend gewählt, als solche Vorstellungen für ihn vielfach Surrogate für die von dem Sehenden wirklich wahrgenommenen Objecte bilden. Darum sind die Surrogatvorstellungen des gewöhnlichen, noch in den Erinnerungen an den Sehraum sich bewegenden Blinden ganz vorzugsweise Gesichtsvorstellungen, und nur, wo sich die Ausdrücke für unbekannte Sehobjecte in Folge der ihnen von der sehenden Umgebung beigelegten Bedeutung mit starken Gefühlen verbinden, oder wo wegen früher Erblindung die Gesichtswelt überhaupt mehr zurücktritt, gewinnen Surrogatvorstellungen anderer Sinnesgebiete, namentlich solche des Gehörssinnes, eine vorherrschende Bedeutung. Sie bewegen sich dann durchweg in jenen durch den Gefühlston vermittelten »Analogien der Empfindung«, die auch bei manchen für solche Gefühlswirkungen besonders sensibeln Menschen die Erscheinungen der »Audition coloree« oder ihrer Umkehrung hervorbringen: das Gelb wird etwa von dem Blinden als Clarinette, das Grün als Flöte, das Blau als Violine charakterisirt u. s. w.[2] Wie diese Erscheinungen nur verstärkte Wiederholungen von Thatsachen sind, die in dem Bewusstseinsleben des vollsinnigen Menschen ebenfalls vorkommen, so sind übrigens überhaupt die Surrogatvorstellungen, insbesondere auch die des Gesichtssinns, kein specifischer Besitz des Blinden, sondern eine Classe von Associationen, die in jedem Bewusstsein ihr Spiel treibt und nur bei dem Blinden in Folge seiner Beschränkung auf einen verhältnissmäßig engen Umkreis von Erinnerungsbildern auffallender hervortritt. Auch der Vollsinnige schaltet fortwährend mit »Surrogatvorstellungen«, besonders des Gesichtssinnes. Einen Menschen, den wir niemals weder in Person noch in Abbildungen gesehen haben, eine Romanfigur, eine unbekannte Gegend stellen wir uns immer irgendwie vor; und dieses meistens freilich recht unbestimmte und blasse Bild setzt sich naturgemäß auch beim Sehenden aus irgend welchen Erinnerungsbildern oder ihren Fragmenten zusammen. Der Unterschied besteht nur darin, dass sich bei dem Blinden solche Erinnerungsbilder den unmittelbar gegenwärtigen Objecten unterschieben, während sie sich beim Sehenden auf entfernte und unbekannte beschränken. Natürlich muss nun aber die Beschaffenheit dieser associativen Hülfen des Bewusstseins wesentliche Veränderungen erfahren, falls auch die Erinnerungen an die Gesichtswelt fehlen: beim Blindgeborenen. Hier spielen dann offenbar die Klangassociationen eine entscheidende Rolle. In den seltenen Fällen der blind und taub Geborenen

---

[1] HITSCHMANN, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 3, 1892, S. 349 ff. HELLER, Philos. Stud. Bd. 11, 1895, S. 553 ff.

[2] Vgl. die von HELLER (a. a. O. S. 560) mitgetheilte Tabelle der Klangassociationen eines musikalischen Blinden. Ueber die »Audition colorée« überhaupt siehe oben S. 352.

endlich sind die Surrogatvorstellungen nur in dem Sinne noch möglich, dass umgekehrt der Blindtaube zu den ihm von der sehenden und hörenden Umgebung übermittelten Vorstellungen aus den Tastempfindungen selbst seine Associationen gewinnen muss, — eine Vorstellungswelt, zu der uns dann freilich eben wegen dieser der normalen diametral entgegengesetzten Richtung der ergänzenden Associationen in unserem eigenen Bewusstsein durchaus die verdeutlichenden Analogien fehlen[1].

Wenn in den geschilderten Erscheinungen, abgesehen von diesen durch die völlige Ausscheidung der Hauptquelle unserer Erinnerungsbilder und durch die Complication mit andern Sinnesdefecten wesentlich veränderten Bedingungen, im allgemeinen zwischen der Vorstellungswelt des Blinden und der des Sehenden wesentliche Unterschiede nicht existiren, so verhält sich das aber anders, sobald von dem Tastsinn solche Leistungen gefordert werden, die ihm eigentlich inadäquat sind, weil sie die specifische Feinheit der räumlichen Wahrnehmungen des Gesichtssinnes voraussetzen und daher nur mit erheblichen Einschränkungen und Modificationen auf den Tastsinn übertragen werden können. Solche Anforderungen treten jedoch regelmäßig erst in Folge der Erziehung, die dem Blinden künstliche Ersatzmittel für den fehlenden Gesichtssinn zu schaffen sucht, an den Tastsinn heran. Das pädagogisch-psychologische Problem, das in dieser Beziehung vor allem die völlig abweichende Functionsweise des Tast- gegenüber dem Gesichtssinne ins Licht setzt, ist das Problem des Lesenlernens. Die Geschichte desselben ist im Grunde nichts anderes als eine lange Geschichte der Ueberwindung von Vorurtheilen, die sämmtlich in einer falschen Analogie zwischen Gesichts- und Tastsinn ihre Quelle hatten[2]. Als man zuerst zu Anfang des 19. Jahrhunderts den Plan fasste, die Blinden das Lesen zu lehren, ging man von dem Gedanken aus, dass der Tast- dem Gesichtssinn verwandt sei, und dass es sich daher nur darum handeln könne, die Buchstabenzeichen, deren sich der Sehende beim Lesen bediene, in die gröberen Verhältnisse des Tastsinnes zu übertragen. Man fertigte also Blindenschriften an, die genaue, nur stark vergrößerte, aus vertieften oder erhabenen Linien zusammengesetzte Nachbildungen unserer Buchstabenschrift waren. Dies war in doppelter Beziehung ein Fehlgriff. Erstens ist unsere Schrift, wenn sie sich auch aus gewissen natürlichen Anfängen heraus geschichtlich entwickelt hat, doch ihrem Wesen nach ein conventionelles System von Zeichen. So gut wir dasselbe bei der Stenographie zum Behuf größerer Geschwindigkeit verändern, gerade so gut ist natürlich auch der Blinde, wenn sich für seine Bedürfnisse eine

[1] W. Jerusalem, Laura Bridgman. 1890, S. 31 ff.

[2] Vgl. die kurze Geschichte der Blindenschrift bei Th. Heller, a. a. O. S. 441 ff., wo sich auch die weitere Litteratur über diesen Gegenstand angeführt findet.

andere Schrift besser eignet, nicht an die Zeichen des Sehenden gebunden. Zweitens aber stand man unter dem Vorurtheil, der Tastsinn sei gerade so wie das Auge auf die Wahrnehmung continuirlicher Linien angelegt. Merkwürdiger Weise hat die Praxis diesen zweiten Irrthum früher als den ersten erkannt: man schuf nun eine »Stachelschrift«, bei der die Linien der Buchstaben durch Reihen erhabener Punkte ersetzt waren, während die Formen der gewöhnlichen Buchstaben immer noch beibehalten wurden. Endlich brach der selbst blinde Lehrer LOUIS BRAILLE auch mit dem ersten dieser Irrthümer. Er schuf zwischen den Jahren 1830 und 1840 die gegenwärtig in allen Blindenanstalten eingeführte und wohl von allen lesenden Blinden benutzte Punktschrift, eine Erfindung, durch die BRAILLE der größte Wohlthäter dieser Unglücklichen geworden ist. Während die früheren Schriftformen nur ein langsames und höchst mühseliges Buchstabiren gestatteten, liest ein geübter Blinder diese BRAILLE'sche Punktschrift ungefähr mit derselben Geschwindigkeit, mit der ein im Lesen geübtes normales Kind von zwölf Jahren Gedrucktes liest, und er bedient

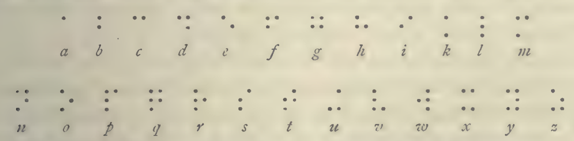


Fig. 240. Die Buchstabenzeichen der BRAILLE'schen Blindenschrift.

sich derselben Zeichen zum Ersatz des Schreibens, indem er auf ein mit vertieften Linien versehenes Papier mit einer Stecknadel die Punkte einsticht. Diese eminente praktische Brauchbarkeit, die voraussichtlich dem BRAILLE'schen System seine Erhaltung für die Zukunft sichert, beruht aber darauf, dass dasselbe einerseits genau den specifischen Eigenschaften des Tastsinnes, anderseits aber nicht minder denen des menschlichen Bewusstseins angepasst ist. Der Tastsinn ist im Gegensatz zum Gesichtssinn, dem Sinn der continuirlichen Linien und Flächen, auf die Unterscheidung discreter, punktförmiger Eindrücke angelegt. Seine Auffassung von Raumformen ist überaus unvollkommen (siehe oben S. 459), seine Unterscheidung von Punkten aber, wie der WEBER'sche Cirkelversuch lehrt, verhältnissmäßig genau. Unser Bewusstsein ist ferner, wie wir später (in Abschn. V) sehen werden, derart angelegt, dass wir regelmäßig geordnete Eindrücke leichter als irreguläre wiedererkennen, während zugleich der Erfassung durch die Aufmerksamkeit mit Rücksicht auf die Zahl der simultan zu appercipirenden Eindrücke ziemlich enge Grenzen gesetzt sind, da im allgemeinen *sechs* die Maximalzahl einzelner gesonderter Eindrücke ist, die wir mit irgend einem der räumlichen Sinnesorgane, sei

es Auge oder Haut, gleichzeitig auffassen können. Nun ist es bewundernswerth, wie genau BRAILLE auf Grund seiner lediglich durch die praktische Erfahrung geleiteten Versuche die Verhältnisse getroffen hat, die das psychologische Experiment als die geforderten kennen lehrt. Die Fig. 240 zeigt die Buchstabensymbole des BRAILLE'schen Systems. Die neun ersten derselben dienen gleichzeitig zur Bezeichnung der Ziffern 1 bis 9, wobei nur jedesmal ein specifisches allgemeines Zifferzeichen (⠼) vorangestellt wird. Die Punkte stehen in solchen Distanzen, dass diese an der Fingerbeere des Zeigefingers deutlich die Raumschwelle überschreiten, während doch die Punkte eines einzelnen Zeichens sämmtlich auf derselben Platz finden. Alle Zeichen sind ferner in dem Sinne regelmäßig angeordnet, dass sie zu der aus 6 Punkten bestehenden regelmäßigen Figur ⠿ gehören. Sehr charakteristisch ist nun die Art, wie der Blinde diese Schrift liest. Er verwendet dazu die beiden Zeigefinger der rechten und der linken Hand: der rechte Finger geht voran und fasst jedesmal in rascher Bewegung eine ganze Gruppe von Zeichen zu einem simultanen Tastbilde zusammen; der linke Finger folgt in jenen rascheren Hin- und Herbewegungen, die man »Tastzuckungen« genannt hat (S. 466). Auf diese Weise ergänzt er Lücken oder verbessert Versehen, die bei dem mehr zusammenfassenden, »synthetischen« Tasten des ersten Fingers geblieben sind. Gleichwohl werden in dem Bewusstsein des geübten Lesers diese beiden Tastbewegungen, die mehr synthetische und die mehr analytische, durchaus nicht unmittelbar, sondern erst bei absichtlicher Selbstbeobachtung des eigenen Thuns unterschieden. Beim gewöhnlichen Lesen hat vielmehr der Blinde ebenso wenig ein gesondertes Bewusstsein seiner Tastempfindungen und Tastbewegungen, wie der Sehende seine Wahrnehmungen unmittelbar auf seine Augen bezieht oder die Thätigkeit des rechten und linken Auges sondert. Der seine ganze Aufmerksamkeit dem Object zukehrende Blinde nimmt, gerade wie der Sehende, nur das Object wahr, und wenn er noch über visuelle Erinnerungsbilder verfügt, so verbinden sich diese unmittelbar in blassen Umrissen mit den Tasteindrücken, während überdies Articulationsbewegungen in mehr oder minder ausgeprägten Andeutungen, wie bei jedem Lesen, als weitere Complicationen nebenhergehen. Je mehr Uebung im Lesen eintritt, um so mehr fügen sich dann auch sofort die Tastbilder nicht bloß zu Worten, sondern gelegentlich selbst zu Wortgruppen zusammen, indem, wie beim Sehenden, die Lücken, die etwa der unmittelbare Tasteindruck lässt, meist simultan durch reproductive Elemente ergänzt werden, ohne dass der Lesende selbst von solchen Ergänzungen etwas bemerkt[1].

---

[1] Vgl. in Abschn. V die Erörterungen über die Assimilationen.

Sind diese Vorgänge beim Lesen durch die bei ihnen obwaltenden Bedingungen auf die eigene Leistung des Tastsinnes eingeschränkt, so unterscheiden sich nun davon die sonstigen Wahrnehmungsprocesse des Blinden, namentlich sobald sie zu Vorstellungen über Entfernungen und Richtungen im Raum führen, wesentlich dadurch, dass bei ihnen die Mithülfe anderer Sinne, vor allen des Gehörssinns, deutlich hervortritt. Das Geräusch der Schritte einer Person z. B. verräth dem Blinden nicht bloß die Annäherung oder Entfernung derselben, sondern auch die Richtung, in der dies geschieht, mögen auch namentlich bei solchen Richtungsvorstellungen manchmal erhebliche Irrungen mit unterlaufen. Dazu können dann in Folge von Luftbewegungen oder durch die Reflexion an starren Gegenständen leise Tasteindrücke hinzutreten. Ein bezeichnendes Beispiel solch combinirter Function ist der sogenannte »Fernsinn des Blinden«, d. h. seine Fähigkeit, feste Gegenstände, z. B. eine Wand, schon bei der Annäherung aus einiger Entfernung wahrzunehmen. Manchmal für einen besonderen, mystischen Sinn gehalten, erweist er sich bei näherer Prüfung durchaus als eine durch gleichzeitige Association von Tast- und Gehörseindrücken erfolgende Vorstellungsbildung. Beide wirken in diesem Falle derart zusammen, dass der Blinde zuerst eine Veränderung der Schallfärbung seiner Schritte wahrnimmt, die in Folge der Reflexion der Schallwellen an der Wand eintritt: sie ist gewissermaßen ein Signal für die Aufmerksamkeit, worauf nun bei weiterer Annäherung an der Stirn ein leiser Tasteindruck der von der Wand reflectirten Luft empfunden wird. Als daher HELLER den Blinden auf unhörbaren Sohlen gehen ließ, stieß er unfehlbar an. Er stieß aber ebenso gegen die Wand, als ihm die Stirn mit einem Tuch verbunden wurde, das den Tasteindruck beseitigte[1]. Auch in diesen Fällen weiß übrigens der Blinde selbst zunächst gar nichts von jenen Componenten seiner Fernevorstellung. Die Wand taucht meist unmittelbar als eine mehr oder minder unbestimmte Vorstellung, falls noch Erinnerungsbilder des Gesichtssinnes verfügbar sind als eine dunkle Gesichtsvorstellung, auf, ohne dass sich der Blinde über deren Entstehungsweise Rechenschaft zu geben weiß. Die Elemente dieser Vorstellung sind aber sämmtlich bewusste. In dem Augenblick, wo sie aus dem Bewusstsein verschwinden, z. B. wenn der Schritt unhörbar gemacht oder die Stirn zugebunden wird, verschwindet auch die Vorstellung selbst. Doch indem diese sich bildet, gehen jene Elemente ebenso in ihr auf, wie etwa die leisen Obertöne in der Färbung des Klangs, den sie bilden helfen.

[1] HELLER, a. a. O. S. 544 ff.

3. Die Vorstellungen der Lage und der Bewegungen des eigenen Körpers.

a. Lagevorstellungen.

Die Vorstellungen der eigenen Lage und Bewegung beziehen sich entweder auf einen einzelnen Körpertheil oder auf den Gesammtkörper. In beiden Fällen sind die Lagevorstellungen die relativ einfacheren, da sie stets zugleich die Bewegungsvorstellungen begleiten. Die Empfindungscomponenten, die an diesen Vorstellungen mitwirken, sind früher (S. 19 ff.) erörtert worden. Alle diese Componenten, Gelenk-, Haut-, Sehnen- und Muskelempfindungen, verschmelzen derart, dass sie weder sicher getrennt, noch genau einzeln localisirt werden können. Indem aber jeder Stellung eines Körpertheils ein bestimmtes Verhältniss jener Componenten entspricht, liegt hierin zugleich die Möglichkeit einer Unterscheidung der verschiedenen Stellungen der Körpertheile von einander und ihrer Beziehung auf bestimmte Richtungen im Raume. Diese hauptsächlich, wie wir sahen, unter dem Einfluss der Gelenkempfindungen zu stande kommende Orientirung ist nun zugleich von der jeweils vorhandenen Vorstellung der Lage des Gesammtkörpers abhängig, ebenso wie anderseits die letztere wiederum durch die einzelnen Lagevorstellungen der Körpertheile bedingt wird. Von einer für sich bestehenden Lagevorstellung eines Körpertheils kann daher immer nur dann die Rede sein, wenn wir dessen Lageverhältniss zu andern Theilen zur isolirten Auffassung bringen; und die Vorstellung der Lage des Gesammtkörpers wird stets dadurch bestimmt, dass die Lage eines einzelnen Theils in ihrer Beziehung zum äußern Raum und zu andern Körpertheilen aufgefasst wird. Hieraus entspringt schon im allgemeinen die Forderung eines dominirenden Körpertheils, zu dem die andern durch ihre speciellen Lageempfindungen in ihrer Stellung orientirt sind, indess ihm selbst bei der Orientirung im äußeren Raum die führende Rolle zukommt. Dieser dominirende Theil kann, wie die Selbstbeobachtung im Verein mit der experimentellen Variation der Bedingungen lehrt, wechseln: in den meisten Fällen vermittelt der Kopf, zuweilen aber auch eine andere Körperregion, wie der Rumpf oder das untere Extremitätenpaar, die fundamentale Orientirung, auf die dann alle speciellen Lageverhältnisse bezogen werden. Das Hauptmotiv einer solchen Bevorzugung besteht wahrscheinlich in der Beziehung des Orientirungsorganes zu objectiven räumlichen Wahrnehmungen. Es wird außerdem unterstützt durch die bereits bei den intensiven Gehörsvorstellungen in so ausgeprägter Weise hervortretende Eigenschaft aller Vorstellungsverbindungen, dass gewisse herrschende Empfindungen vorzugsweise appercipirt

werden. Schon der Umstand, dass alle speciellen Sinnesorgane, vor allem das die Hauptorientirung im Raum vermittelnde Seh- und das beim Blinden dieses theilweise ersetzende Hörorgan, am Kopfe vereinigt sind, verleiht hier offenbar dem letzteren einen Vorzug. Der Kopf als Träger des Gesichtssinns ist daher das hauptsächlichste Orientirungsorgan, dem nur in gewissen Fällen, wo es sich um die Orientirung des Gesammtkörpers zur Bodenfläche handelt, bei aufrechter Stellung die unteren Extremitäten, bei stark geneigter oder hängender Lage des Körpers die Tastfläche des Rumpfes zur Seite treten. Du nun jedes der genannten Orientirungsorgane wieder aus verschiedenen, gegen einander beweglichen Theilen besteht, so ist die jeweilige Lagevorstellung des dominirenden Theils und demzufolge auch des Gesammtkörpers eine Resultante aus mehreren zum Theil unabhängig variabeln Wahrnehmungscomponenten. Dies zeigt sich besonders deutlich an den Vorstellungen von der Lage des Kopfes, die theils von den die Bewegung der Wirbelsäule theils von den die Augenbewegungen begleitenden Empfindungen abhängen. Die herrschende Rolle unter diesen Empfindungen spielen wieder wegen der unmittelbaren Beziehung des Sehorgans zur Raumanschauung die Augenbewegungen. Selbst bei geschlossenen Augen orientiren wir uns im äußern Raum vorzugsweise nach der Augenstellung. Dies beweisen deutlich die statischen Täuschungen, die bei einer bleibenden Drehung des Kopfes um seine verticale, horizontale oder sagittale (von vorn nach hinten gerichtete) Achse eintreten. In allen diesen Fällen betheiligen sich die Augen derart an der Drehung, dass, während sich der ganze Kopf bewegt, die Augenmuskeln im selben Sinne wirken und so eine Drehung der Augen über die beabsichtigte Stellung hinaus hervorbringen, wobei, wie DELAGE[1] fand, die Augen durchschnittlich um 15° weiter im Sinne der Drehung von der Ausgangsstellung abweichen als der Kopf. Diese zusammengesetzte Bewegung wirkt nun dergestalt auf die Lagebestimmung des Körpers ein, dass entweder der äußere Raum in gleicher Größe aber entgegengesetztem Sinne wie die Augen, oder der eigene Körper um ebensoviel in gleichem Sinne von der dem Kopf gegebenen Stellung abzuweichen scheint. In beiden Fällen werden offenbar Kopf- und Augenbewegungen nicht unterschieden, sondern, da ihnen ein einziger Empfindungscomplex entspricht, als ein einziger Bewegungsact aufgefasst. Im ersten Falle wird aber der Differenzbetrag der beiden Componenten, die überschüssige Augenbewegung, auf den äußeren Raum, im zweiten Fall wird er auf den Gesammtkörper bezogen. Aendert der Gesammtkörper

[1] AUBERT, Physiologische Studien über die Orientirung (unter Zugrundelegung von H. DELAGE). 1888, S. 17 ff.

seine Stellung zur Fußbodenebene, so werden dagegen hauptsächlich die Tast- und Gelenkempfindungen des Fußes und Rumpfes für die Orientirung im Raume maßgebend. Wird z. B. bei geschlossenen Augen der Körper auf einer mit einem Fußbrett versehenen Rückenunterlage in der Medianebene nach hinten geneigt, so werden im allgemeinen kleine Abweichungen von der verticalen Richtung etwas unterschätzt, größere über 60° überschätzt; und sobald die Fußsohle ihre Unterstützung auf dem Boden verloren hat, wird die Auffassung der Körperlage völlig unsicher[1]. Diese Erscheinungen erklären sich wohl daraus, dass nicht bei wirklich verticaler, sondern bei schwach nach rückwärts geneigter Stellung der Druck auf die Fußsohlen am stärksten ist, und dass er schon lange vor erreichter horizontaler Lage verschwindend klein wird, während der Druck auf die Rückenfläche des Rumpfes hier bereits sein Maximum erreicht hat.

In allen diesen Fällen, wo die Orientirung im Raume hauptsächlich durch Gelenk- und Tastempfindungen zu stande kommt, ist es für dieselbe bedeutungslos, ob bestimmte Lageänderungen passiv oder durch active Muskelwirkungen entstanden sind. Im letzteren Fall verbindet sich nur, gemäß dem früher (S. 24 ff.) über die Componenten der Lageempfindung Bemerkten, in Folge der Contractionsempfindung der Muskeln und der an dieselben gebundenen Gefühle mit der Vorstellung der Lage die weitere einer zur Erhaltung dieser Lage aufgewandten eigenen Anstrengung.

b. Bewegungsvorstellungen.

Die Vorstellung einer Bewegung des Körpers oder einzelner Körpertheile kann ebenfalls entweder das Resultat einer ausschließlich durch äußere Kräfte verursachten Ortsveränderung sein oder durch die active Anstrengung einzelner Theile entstehen, wie beim Gehen, Laufen, Klettern, Schwimmen u. s. w. Die wichtige Rolle, die bei beiden Arten der Vorstellung dem Gesichtssinn zukommt, kann erst später (in Cap. XIV) berücksichtigt werden. Hier haben wir zu untersuchen, in welcher Weise die Elemente der Tast- und Bewegungsvorstellung für sich allein zureichen, um die Bewegung des Gesammtkörpers zum Bewusstsein zu bringen. Zu diesem Zweck wird es genügen, die Entstehung der passiven Bewegungsvorstellung zu erörtern, da die active sich lediglich wieder aus

---

[1] Delage-Aubert, a. a. O. S. 45 ff. Bei einer Neigung von 5° glaubte in Delages Versuchen die Versuchsperson noch vertical zu stehen; bei 60° verschwand der Orientirungsfehler, um dann im entgegengesetzten Sinne so anzuwachsen, dass bei einer Neigung von 120° die Drehung = 180° erschien, so als wenn der Kopf vertical nach unten gerichtet wäre.

der Vorstellung einer Lageänderung und aus den begleitenden Muskelempfindungen mit den daran geknüpften, den Willensvorgang constituirenden Gefühlen zusammensetzt. Dabei ist übrigens die active Bewegungsvorstellung stets an einzelne Körpertheile gebunden, während sich die passive sowohl auf einen einzelnen Theil wie auf den Gesammtkörper beziehen kann.

Unter der Bedingung der Ausschließung des Gesichtssinnes bemerken wir nun, abgesehen von sehr kurz dauernden Bewegungen, die passive Bewegung in allen den Fällen gar nicht, wo die Translocation mit gleichförmiger Geschwindigkeit geschieht. Namentlich wenn die letztere von mäßiger Größe ist, kann uns sowohl eine dauernde Drehung um die Körperachse wie eine Progressivbewegung bei geschlossenem Auge oder in einem abgeschlossenen Raume, dessen Bewegungen wir mitmachen, völlig entgehen. Dagegen kommt jede Geschwindigkeitsänderung deutlich zum Bewusstsein, sobald sie eine gewisse Größe erreicht, die bei der Drehbewegung erheblich niedriger liegt, als bei der fortschreitenden[1]. Die so entstandene Vorstellung der Bewegung hört aber nicht sofort auf, wenn die wirkliche Bewegung gleichförmig geworden oder zum Stillstand gekommen ist, sondern es bedarf einer gewissen Zeit, bevor die einmal erweckte Vorstellung wieder verschwindet. Diese subjective Nachwirkung besteht zunächst in einer scheinbaren Verlangsamung der Bewegung in ihrer ursprünglichen Richtung und dann in der Vorstellung einer daran sich anschließenden rückläufigen Bewegung, die sich ebenfalls allmählich verlangsamt und so in die Vorstellung der Ruhe übergeht. Aehnliche Nachwirkungen treten auch bei gleichförmigen Progressiv- oder Drehbewegungen ein, während deren die Vorstellung der Ruhe besteht, namentlich wenn solche Bewegungen plötzlich unterbrochen werden. Im Moment des Stillstandes glaubt man dann, der Körper bewege sich mit allmählich abnehmender Geschwindigkeit in einer der vorangegangenen entgegengesetzten Richtung, oder der äußere Raum befinde sich in einer dieser Scheinbewegung des eigenen Körpers entgegengesetzten allmählich abnehmenden Bewegung. Bringt man während oder nach der Drehung den Kopf in eine andere Lage, so behält die Achse der Rotation ihre Lage im Kopfe bei, die Drehung des Körpers und der äußern tastbaren Gegenstände ändert sich daher, obgleich die Stellung der übrigen Körpertheile unverändert geblieben ist[2].

---

[1] E. MACH, Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen. 1875, S. 25 ff. DELAGE-AUBERT, a. a. O. S. 90 ff. Nach DELAGE wird eine progressive Beschleunigung wahrnehmbar, wenn sie 30—40 oder im Minimum 23 cm in 1 s beträgt. Die eben merkliche Beschleunigung bei der Drehbewegung schätzt er auf $^1/_3$ dieser Größe.

[2] MACH, a. a. O. S. 40 ff. DELAGE, a. a. O. S. 73.

Diese Erscheinung ist nun bei der Drehbewegung mit einer im Kopfe localisirten Empfindung verbunden, in Folge deren man die Vorstellung hat, der Kopf werde im Sinne der Scheindrehung des Körpers gewaltsam gedreht, und mit der sich weiterhin Uebelsein und Ohnmachtsanwandlungen verbinden können. Diese subjectiven Wirkungen sind bei den als Nachwirkungen progressiver Bewegung eintretenden Scheinbewegungen ungleich geringer oder sie fehlen ganz, so dass die Bewegungstäuschung zwar in beiden Fällen, das Schwindelgefühl aber, das in eben jenen subjectiven Symptomen besteht, vorzugsweise als Nachwirkung der Drehbewegung auftritt[1].

Die näheren Bedingungen dieser Störungen beweisen, dass auch hier wieder vorzugsweise der Kopf das für die passiven Bewegungen des Gesammtkörpers orientirende Organ ist. Die Lageänderungen unseres Körpers sowie die Beschleunigungen desselben empfinden wir zunächst im Kopfe und meistens erst in secundärer Weise, in Folge specieller Stoß- oder Druckwirkungen, an andern Körpertheilen. Ueber die Einrichtungen, welche diese Gleichgewichts- und Bewegungsempfindungen des Kopfes vermitteln, besitzen wir aber noch keine zureichende Sicherheit. Wie bei allen Organen, so sind auch hier die Haut-, Gelenk- und Muskelempfindungen, sowie namentlich die Bewegungsempfindungen der Augen von einem gewissen Einflusse. Aus den Augenbewegungen erklären sich insbesondere diejenigen Erscheinungen des Drehschwindels, die sich in Scheinbewegungen des umgebenden Raumes äußern, wie wir bei der speciellen Betrachtung der räumlichen Wahrnehmungen des Gesichtssinnes sehen werden. Aber theils reichen diese Bewegungen nicht aus, um alle auf den eigenen Körper oder den äußeren Raum bezogenen Bewegungstäuschungen zu erklären, theils beweisen die Bewegungsstörungen, die durch den experimentellen Eingriff in die Functionen anderer im Kopfe gelegener Organe hervorgebracht werden, dass dieser Körpertheil außerdem mit einem besonderen Organ versehen ist, das bei der Auffassung der Stellungen und Bewegungen des Kopfes wirksam ist, und durch welches dieser seine Bedeutung als Hauptorientirungsmittel für den Gesammtkörper gewinnt. Dieses Organ ist, wie schon bei der Betrachtung der allgemeinen Sinnesentwicklung hervorgehoben wurde, das Bogenlabyrinth, derjenige Theil des Ohrlabyrinths, der aus den Ampullen mit dem zugehörigen Theile des Vorhofs (utriculus) und den Bogengängen besteht, und den wir entwicklungsgeschichtlich als die letzte Differenzirung jener tonischen Sinnesapparate betrachten dürfen, aus denen auch die specifischen Gehörorgane hervorgegangen sind (Bd. 1, S. 381 ff., vgl. dazu

[1] Hitzig, Der Schwindel (Vertigo). 1898, S. 5 ff.

unten Fig. 241). Bei der Zerstörung einzelner Theile dieses Bogenlabyrinths entstehen, wie zuerst FLOURENS fand, hochgradige Störungen der Bewegung. Bei umfangreicheren Zerstörungen werden diese taumelnd und unsicher; statt gerade nach vorn zu gehen, drehen sich die Thiere nach der der Verletzung entgegengesetzten Seite. Begrenztere Erscheinungen treten ein, wenn ein einzelner Bogengang getrennt wird: es erfolgt dann die Bewegung nicht nur, wie vorhin, in einer der Seite der Verletzung gegenüberliegenden Richtung, sondern auch vorwiegend in der Ebene des verletzten Canals. Wird der horizontale oder äußere Bogengang (B_1 Fig. 133, Bd. 1, S. 410) getrennt, so pendelt der Kopf in der Horizontalebene; ebenso erfolgen bei Verletzung des vorderen, senkrecht zur Medianebene (B_3) und des hinteren, annähernd parallel der Medianebene gelegenen verticalen Bogenganges (B_2) jedesmal Pendelbewegungen in der Richtung des verletzten Ganges und nach der Seite der Verletzung, während man zugleich oscillirende Bewegungen der Augen beobachtet[1]. Wird das Bogenlabyrinth auf der einen Seite ganz entfernt, so treten starke Kopfverdrehungen nach der labyrinthlosen Seite ein. Werden beiderseits die Bogenlabyrinthe ausgerottet, so bleiben solche Abweichungen von der Normalstellung aus, aber die Bewegungen werden unsicher, und die Thiere scheinen die Fähigkeit des Drehschwindels verloren zu haben. Ganz diesen Ausfallserscheinungen entsprechen die bei elektrischer, thermischer oder mechanischer Erregung einzelner Labyrinththeile beobachteten Reizungserscheinungen, nur dass dabei die Kopfverdrehungen nach der Seite der Reizung zu erfolgen pflegen[2]. Diese Thatsachen scheinen für die zuerst von GOLTZ[3] geäußerte Vermuthung zu sprechen, dass die Bogengänge Sinnesapparate für die Wahrnehmung der Stellungen und Bewegungen des Kopfes seien, wie denn auch die Lage der Bogengänge, deren Ebenen bei den höheren Wirbelthieren den drei durch den Kopf gelegten Hauptebenen annähernd parallel sind, durch diese Annahme eine gewisse Bedeutung gewinnt. Dabei weisen jedoch die meisten Erscheinungen, die bei Reizung oder Verletzung des Bogenlabyrinths eintreten, mehr auf reflectorische Wirkungen als auf den Einfluss bewusster Empfindungen hin. Insbesondere die dauernden Augen- und Kopfverdrehungen lassen annehmen, dass normalerweise von dem Labyrinth eine

---

[1] FLOURENS, Recherches expér. sur les fonctions du système nerveux[2], p. 446. BREUER, Wiener med. Jahrbücher, 1874, S. 72. 1875, S. 87. BECHTEREW, PFLÜGERS Archiv, Bd. 30, 1882, S. 312. CYON, Recherches sur les fonctions des canaux sémicirculaires. Thèse. 1878.

[2] BREUER, PFLÜGERS Archiv, Bd. 44, 1888, S. 135 ff. R. EWALD, Untersuchungen über das Endorgan des Nervus octavus. 1892, S. 227 ff. KUFFLER, PFLÜGERS Archiv, Bd. 83, 1901, S. 212.

[3] GOLTZ, PFLÜGERS Archiv, Bd. 3, 1870, S. 172 ff.

continuirliche Reflexerregung ausgeht, durch die eine beständige motorische Innervation ausgelöst wird. Die Ausfallserscheinungen bei Exstirpation einzelner Labyrinththeile werden dann auf eine partielle Aufhebung dieser dauernden Reflexwirkung, die Reizsymptome auf eine partielle Verstärkung derselben zurückzuführen sein. Uebrigens schließt diese Function des Bogenlabyrinths als Reflexorgan keineswegs aus, dass dasselbe auch Empfindungen vermittelt, welche wesentliche Componenten der Vorstellung des Körpergleichgewichts sind, wenn sie auch, wie alle in inneren Organen entstehenden Empfindungen, nur sehr unvollkommen localisirt werden. Hierfür spricht außerdem die Thatsache, dass selbst bei umfangreichen Labyrinthzerstörungen nach längerer Zeit eine Ausgleichung der Störungen einzutreten pflegt, wahrscheinlich indem nun die Bewegungen und Gleichgewichtsstellungen durch die Haut- und Gelenkempfindungen allein regulirt werden, was freilich, wie die fortdauernde Unsicherheit der Bewegungen lehrt, immer nur unvollkommen geschehen kann. Diesen theilweise unter dem Einflusse stellvertretender Regulirung stehenden Bewegungen von Thieren, die seit längerer Zeit des Bogenlabyrinths entbehren, gleichen ferner vollständig die Bewegungen vieler Taubstummer, bei denen muthmaßlich mit dem Gehör auch das Bogenlabyrinth verödet ist. Bei ihnen wird die Orientirung im Raume bei Ausschluss der Augen völlig unsicher, und überdies scheinen solche labyrinthlose Taubstumme dem Drehschwindel nicht ausgesetzt zu sein[1]. Als den in der Ruhestellung des Kopfes wie bei den Bewegungen desselben auf jenes Organ einwirkenden Reiz wird man nun wahrscheinlich den Druck ansehen dürfen, den die in den häutigen Ampullen und Bogengängen enthaltene Endolymphe auf die mit haarförmigen Fortsätzen versehene nervenreiche Membran ausübt. Indem die Vertheilung dieser Druckerregungen nach der Stellung des Kopfes wechselt, ändern sich sowohl die Empfindungscomponenten, die sich an der Vorstellung der Kopfstellung betheiligen, wie die Reflexantriebe, die auf eine Ausgleichung stark abweichender Stellungen gerichtet sind. Die bei den Bewegungen des Kopfes oder des Gesammtkörpers entstehenden Strömungen der Endolymphe aber werden sich je nach der Richtung der Bewegung verschieden verhalten und auf diese Weise mehr oder weniger örtlich beschränkte Erregungen hervorbringen. In der That fand EWALD, dass künstlich erzeugte Strömungen der Endolymphe bei der Taube ähnlich wie Reizungen des Bogenlabyrinths wirkten, und dass sich bei einer

[1] W. JAMES, Americ. journ. of otology, vol. 4, 1882. KREIDL, PFLÜGERS Archiv, Bd. 51, 1892, S. 119 ff. POLLAK, ebend. Bd. 54, 1893, S. 188. BRUCK, ebend. Bd. 59, 1894, S. 16.

Umkehrung der so hervorgerufenen Strömung auch die Reizsymptome entsprechend veränderten[1].

Wenn uns bloß die zuletzt geschilderten Erscheinungen bekannt wären, so würde nun von vornherein eine doppelte Deutung dieses Organs möglich sein: man könnte es entweder als einen specifischen Sinnesapparat ansehen, der den übrigen Sinnen als ein neues, eigenthümliches Sinnesgebiet, als ein sogenannter »sechster Sinn« gegenüberstünde; oder man könnte in ihm ein Dependenzorgan irgend eines andern Sinnes vermuthen, in dessen Functionen jene eigenthümlichen Störungen mit eingreifen, sei es nun des allgemeinen Tastorgans, sei es, wie das zuerst FLOURENS vermuthete, des Gehörorgans. Seit GOLTZ haben sich die Physiologen durchweg für die erste dieser Annahmen ausgesprochen: das Bogenlabyrinth ist ihnen das Organ eines »sechsten Sinnes«, dessen Functionen von denen der bekannten fünf Sinne specifisch verschieden seien, und den man, ohne sich übrigens auf die Untersuchung der specifischen Empfindungen desselben einzulassen, entweder als »statischen Sinn« oder, indem man ihm eine besondere Beziehung zum Muskeltonus anweist, als »tonischen Sinn«, oder aber endlich, indem er als ein auch bei den Raumfunctionen des Tast- und Gesichtssinnes wesentlich ausschlaggebender Sinn betrachtet wird, geradezu als »Raumsinn« bezeichnet. Unter diesen Ansichten hat diejenige, die, in nahem Anschluss an GOLTZ' eigene Auffassung, das Bogenlabyrinth des Menschen und der höheren Thiere nach dem Vorgang von MACH und BREUER als ein »Gleichgewichtsorgan« zunächst des Kopfes und dann durch seine Vermittelung auch des Gesammtkörpers auffasst, wohl die meisten Vertreter für sich[2]. Sie wird auch meist von denjenigen Physiologen getheilt, die in den Gehörbläschen der niederen Thiere auf Grund der an denselben ausgeführten Versuche keine primitiven Gehörorgane, sondern Gleichgewichtsorgane, »Statocysten« erblicken[3]. Sucht diese Hypothese zunächst der Incoordination der Bewegungen Rechnung zu tragen, die nach den Operationen am Bogenlabyrinth oder an den ihm äquivalenten Organen der Wirbellosen eintreten, so stellt die zweite die bei den operirten Thieren beobachteten Symptome der Muskelschwäche, und den in der Folge auftretenden Muskelschwund in den Vordergrund. In diesem Sinne bezeichnet R. EWALD das Bogenlabyrinth als »Tonuslabyrinth« und die Gesammtheit der ihm äquivalenten primitiven Organe niederer Thiere als

---

[1] EWALD, a. a. O. S. 212 ff.

[2] E. MACH, Sitzungsber. der Wiener Akademie, 2, Bd. 68, Jan. 1874. J. BREUER, PFLÜGERS Archiv, Bd. 48, 1890, S. 195 ff. Bd. 68, 1897, S. 596.

[3] J. LOEB, PFLÜGERS Archiv, Bd. 49, 1891, S. 175. A. BETHE, ebend. Bd. 76, 1899, S. 470. TH. BEER, ebend. Bd. 74, 1899, S. 364. Vgl. dazu oben Bd. 1, S. 376 f.

»tonische Sinnesorgane«, deren wesentliche Function darin bestehe, dass in ihnen die tonischen Erregungen der Muskeln, die zur Erhaltung des Gleichgewichts wie zur sicheren Ausführung der Bewegungen erforderlich sind, reflectorisch ausgelöst werden[1]. Endlich die dritte Hypothese geht auf den allgemeinsten Charakter der beobachteten Ausfallssymptome, auf die mangelnde Orientirung im Raume zurück: sie betrachtet die sogenannten Otocysten sowie das Bogenlabyrinth schlechthin als die Organe des »Raumsinnes«, von dessen Functionen erst die von den andern Sinnen ausgehenden Orientirungen im Raum abhängen, indem dabei stets reflectorische Verbindungen mit jenem specifischen Raumsinnesorgan in Action treten müssten[2].

Wie man sieht, sind alle diese Hypothesen im Grunde nur allgemeine Begriffe, denen man die Symptome von verschiedenen Standpunkten aus subsumirt, und bei denen seit GOLTZ die Voraussetzung festgehalten wird, dass es sich hier um die Functionen eines eigenartigen »sechsten Sinnes« handle, der von den übrigen ebenso specifisch verschieden sei, wie es diese, z. B. der Gesichts- und der Gehörssinn, unter sich sind. Nun ist es aber sehr merkwürdig, dass man dabei über diejenige Aufgabe, auf die es doch bei der Untersuchung der Functionen eines neuen Sinnes vor allen Dingen ankommen sollte, nämlich über die Feststellung der Empfindungsqualitäten desselben, mit völligem Stillschweigen hinweggeht. Zwar ist es ja richtig, dass wir Empfindungen niemals beschreiben, sondern nur unmittelbar erleben können. Immerhin können wir sie bekanntlich mit gewissen Namen belegen, wie grün, blau, roth oder süß, sauer, bitter u. s. w., und darüber Auskunft geben, ob der betreffende Sinn mehrere Sinnesqualitäten umfasst oder nicht. Auch der sogenannte Muskelsinn, den man früher zuweilen als einen »sechsten Sinn« zu bezeichnen liebte, entbehrte dieses Desiderats nicht, da man unmittelbar auf die die Muskelcontraction begleitenden Spannungsempfindungen hinweisen konnte. Seitdem wir wissen, dass diese Empfindungen durchaus nicht bloß in den Muskeln, sondern zu einem wesentlichen Theil auch in den Sehnen und namentlich in den Gelenken ihren Sitz haben, und dass sowohl die besonderen Nervenendigungen in diesen wie die qualitativen Eigenthümlichkeiten dieser Empfindungen denen der Druckempfindungen der äußeren Haut ähnlich sind, ist freilich der Begriff des »sechsten Sinnes« in dieser ehemaligen Bedeutung hinfällig geworden. Immerhin hatte derselbe insofern eine gewisse Berechtigung, als demselben wirklich bestimmte Empfindungen zu Grunde lagen, die wir nur eben jetzt nicht

---

[1] R. EWALD, Physiologische Untersuchungen über das Endorgan des Nervus octavus. 1892, S. 294 ff.

[2] E. VON CYON, PFLÜGERS Archiv, Bd. 71, 1898, S. 72. Bd. 79, 1900, S. 211.

mehr als specifische, sondern nur noch als eigenthümlich modificirte Tastempfindungen auffassen. Nun nimmt man wohl vielfach auch bei dem neuen »sechsten Sinn« irgend welche Empfindungen an. Aber von einer genaueren Fixirung dieser Empfindungen, geschweige denn von der Untersuchung der Frage, wie sich dieselben etwa zu andern, bekannteren Sinnesempfindungen verhalten, ist keine Rede. Man überspringt diese, so viel wir wissen, bei allen Sinnesorganen zur Function erforderlichen Mittelglieder, um mittelst der Annahme irgendwie ausgelöster Reflexe sofort zu den complicirten Functionen überzugehen. »Statisches Organ«, »Tonusorgan«, »Raumsinnesorgan« sind ja nichts anderes als Ausdrücke für solche complicirte Functionen. Werden sie ohne weiteres als Erklärungsgründe der Erscheinungen selbst eingeführt, so bedeutet das eine Uebertragung des nämlichen Princips der Localisation complexer Functionen, dessen sich die alte und die neue Phrenologie in der Gehirnphysiologie bedient haben. Denn die Namen »statisches Organ«, »Tonusorgan«, »Raumsinnesorgan« sind inhaltsleer, so lange man nicht darüber Rechenschaft gibt, durch welches Zusammenwirken functioneller Elemente jene zusammengesetzten Leistungen zu stande kommen, deren Störungen wir als Folgen der experimentellen oder pathologischen Eingriffe beobachten. Wenn man sich über dieses Problem nicht mit den Namen des »statischen Sinnes«, des »Raumsinnes« u. dergl., die es mit dem »Thatsachensinn«, dem »religiösen Sinn« und anderen Begriffen der alten Phrenologie aufnehmen könnten, hinwegtäuschen will, so treten uns aber bei allen den Symptomen, die wir mit einigem Recht auf das Bogenlabyrinth und die ihm verwandten tonischen Sinnesorgane niederer Thiere zurückführen können, zwei Thatsachen als maßgebende objective Instanzen für die Beurtheilung der Erscheinungen entgegen. Erstens: diese sämmtlichen »tonischen Organe« — der Name soll hier, weil er an sich am wenigsten eine bestimmte Hypothese in sich schließt, beibehalten werden — besitzen in der Bedeutung, in der etwa dem Gesichts- und Gehörssinn im Hinblick auf die ihnen eigenen Empfindungen eine specifische Function zugeschrieben werden kann, eine solche überhaupt nicht. Dem blind oder taub Geborenen ist die Welt der Farben oder der Töne für immer verschlossen. Der Taubstumme dagegen, der, wie gewisse Erscheinungen verrathen, seines »Tonuslabyrinths« entbehrt, gewinnt mit Hülfe anderer Sinne, namentlich des Tast- und Gesichtssinnes, eine so vollständige Orientirungsfähigkeit im Raume, dass er, so schwer er den Mangel des Gehörs empfinden mag, den dieses Orientirungsorgans kaum zu bemerken scheint. Nicht minder zeigen die experimentellen Erfahrungen, dass sich die durch Verletzungen der Bogengänge bei Thieren erzeugten Störungen nahezu vollständig wieder ausgleichen können. Ein

Organ, das in solcher Weise durch andere vertreten wird, kann aber keine specifische, nur ihm eigenthümliche Function haben. Zweitens: das tonische Organ steht functionell in enger Beziehung zu den übrigen Sinnen und zwar wahrscheinlich zu allen, ähnlich wie ja diese selbst wieder durch intracentrale Bahnen verbunden sind. Insbesondere sind es aber die andern räumlichen Sinne, Tast- und Gesichtssinn, bei denen diese Verbindungen in den oben geschilderten Erscheinungen deutlich hervortreten. Daraus ist mit größter Wahrscheinlichkeit zu schließen, dass der tonische Sinn kein für sich isolirbares Vorstellungsgebiet umfasst, sondern dass er ebenso wenig für sich allein Wahrnehmungen des Gleichgewichts und der Bewegungen des Körpers oder gar des Raumes im allgemeinen vollziehen kann, wie etwa der Sehende durch den bloßen Tastsinn Wahrnehmungen äußerer betasteter Objecte gewinnt, bei denen nicht, auch ohne dass er es will, Associationen mit den Vorstellungen des Gesichtssinnes mitwirken. In dem Maße nun, als in dieser Hinsicht das tonische Sinnesorgan offenbar weit mehr noch an eine solche Mitfunction anderer Sinne gebunden ist, im gleichen wird auch die selbständige, über ein eigenes Empfindungssystem verfügende Existenz eines solchen Sinnes unwahrscheinlich. Vielmehr ist der »tonische Sinn« sichtlich am nächsten dem Tastsinn affiliirt. Er verhält sich zu demselben vielleicht nicht sehr viel anders, als wie sich die Gelenkempfindungen zu den Druckempfindungen der äußeren Haut verhalten. Soweit sich über die Empfindungen urtheilen lässt, die bei Neigungen des Kopfes oder beim Drehschwindel im Innern desselben entstehen, und soweit diese Empfindungen sei es ganz sei es theilweise auf Erregungen innerhalb des Bogenlabyrinths zurückgeführt werden können, scheint in der That diese Auffassung die nächstliegende zu sein. Wer jene Empfindungen mit irgend welchen andern vergleichen soll, wird immer wieder auf die Tastempfindungen zurückkommen. Ebenso wie diese subjectiven Beobachtungen dürften aber schließlich die früher eingehend erörterten entwicklungsgeschichtlichen Thatsachen für das nämliche Verhältniss eintreten (Bd. 1, S. 375 ff.). Behalten wir also den Ausdruck »tonische Sinnesorgane« der Kürze halber bei, so scheint alles, was wir über die morphologischen wie über die physiologischen Eigenschaften dieser Organe wie endlich über den psychologischen Charakter der in ihnen ausgelösten Empfindungen wissen, der Auffassung zuzudrängen: das Bogenlabyrinth und die ihm äquivalenten tonischen Sinnesorgane niederer Thiere (Otocysten, Statocysten u. s. w.) sind, soweit die letzteren nicht gleichzeitig Gehörsfunctionen besitzen, Dependenzen des Tastsinnes, eine Art innerer Tastorgane, in dieser Beziehung den Gelenken am nächsten verwandt. An der Entstehung der Lage- und Bewegungs-

empfindungen des für die Lagevorstellungen des Gesammtkörpers dominirenden Körpertheils, des Kopfes, in erster Linie betheiligt, stehen sie außerdem mit allen andern für die räumliche Orientirung wichtigen Sinnen, Gehörs-, Gesichtssinn sowie äußeren Provinzen des Tastsinnes, in reflectorischen Verbindungen, die bei den räumlichen Vorstellungen dieser übrigen Sinnesgebiete vielfach in Wirksamkeit treten. Damit ordnet sich nun aber zugleich die Frage nach den Beziehungen der Empfindungen dieser »tonischen Sinnesorgane« der allgemeineren Frage nach der Bildung der räumlichen Tastwahrnehmungen überhaupt unter.

Aus den bei dem Schwindel eintretenden Gleichgewichtsstörungen und Bewegungstäuschungen schloss schon PURKINJE, dass diese Erscheinungen in Einwirkungen auf ein im Kopfe gelegenes Organ ihren Grund hätten. Als dieses Organ betrachtete er das Gehirn[1]. Nachdem dann FLOURENS gezeigt hatte, dass Bewegungsstörungen ähnlicher Art bei Thieren durch Verletzung des Bogenlabyrinths hervorgerufen werden können, war man meist geneigt, entweder mit FLOURENS selbst diese Störungen aus der Entstehung subjectiver Geräusche abzuleiten[2], oder die Vermuthung PURKINJES specialisirend an eine direct oder indirect gesetzte Functionsstörung des Kleinhirns zu denken[3]. In letzterem Sinne leitete auch HITZIG[4] die Schwindelerscheinungen, die bei der elektrischen Durchströmung des Hinterhaupts eintreten, aus der Wirkung auf das Kleinhirn ab. Unter diesen Hypothesen kann angesichts der neueren Untersuchungen nur noch die letzte und auch sie nur für gewisse Fälle und für einen Theil der Erscheinungen in Betracht kommen. Nachdem nämlich B. LANGE[5] gezeigt hat, dass sowohl nach Zerstörungen des Kleinhirns die Labyrinthsymptome, wie umgekehrt nach Herausnahme beider Labyrinthe die Kleinhirnsymptome experimentell hervorgerufen werden können, und nachdem es BREUER und EWALD gelungen ist, beschränkte Reizungen und Exstirpationen am Bogenlabyrinth auszuführen, bei denen an gleichzeitige Kleinhirnverletzungen nicht mehr gedacht werden kann, darf wohl die Auffassung, dass das Bogenlabyrinth selbst zur Bildung der Vorstellungen vom Gleichgewicht und der Bewegung des Körpers in directer Beziehung stehe, als sicher begründet gelten. Insbesondere ist hier die von BREUER angewandte mechanische Reizung einzelner Theile und die von EWALD ausgeführte Plombirung einzelner Bogen mit oder ohne nachfolgende Exstirpation derselben von entscheidender Bedeutung. Unsicherer ist man über die Beschaffenheit der auf das Organ

[1] PURKINJE, Med. Jahrbücher des österr. Staates, Bd. 6, 1820, S. 79 ff. Mittheilungen der schles. Gesellschaft, 1825 u. 26. (Letztere Mittheilungen abgedruckt bei AUBERT, a. a. O. S. 116.)

[2] So noch in neuerer Zeit VULPIAN (Leçons sur la physiologie du système nerveux. 1866. p. 600), A. TOMASCEWICZ (Beiträge zur Physiologie des Ohrlabyrinths. Dissert. Zürich. 1877) und in etwas modificirter Weise LABORDE (Bulletin de la société d'anthropologie, Décembre 1881).

[3] So BÖTTICHER, Archiv für Ohrenheilkunde, Bd. 9, 1875, S. 1. BAGINSKY, Archiv für Physiologie, 1881, S. 201, und 1885, S. 253.

[4] HITZIG, Das Gehirn, S. 196 ff. Vgl. jedoch dessen neuere Schrift: Der Schwindel. 1898, S. 48 ff.

[5] PFLÜGERS Archiv, Bd. 50, 1891, S. 615 ff.

einwirkenden adäquaten Reize. Während GOLTZ angenommen hatte, jede Ablenkung des Kopfes aus seiner Normalstellung sei von einer Zunahme des Drucks der Endolymphe in der entsprechenden Richtung begleitet, wies zuerst MACH darauf hin, dass bei der Bewegung eines derartigen Canalsystems nothwendig vielmehr zunächst eine entgegengesetzt gerichtete Bewegung der in ihm enthaltenen Flüssigkeit entstehen müsse, indem diese hinter der Bewegung der sie umschließenden Wände zurückbleibe, worauf dann beim Stillstand die Flüssigkeit allmählich in eine der vorangegangenen Bewegung der Canäle gleiche Richtung übergehe. Es liegt dann nahe, weiterhin mit EWALD anzunehmen, dass diese Bewegung auf die Haare der Ampullen und Bogengänge einwirkt und so die Reizung der nervenreichen Labyrinthhaut vermittelt. Auch scheint die Beobachtung EWALDS, dass künstlich erzeugte Strömungen der Endolymphe je nach ihrer Richtung entgegengesetzte Kopfbewegungen hervorrufen, diese Annahme zu bestätigen[1]. Abgesehen von den bei der Bewegung eintretenden Erregungen durch den rückläufigen Strom der Endolymphe muss aber auch eine beständige Erregung aller Theile des Bogenlabyrinths angenommen werden, um die nach partiellen Verletzungen eintretenden Gleichgewichtsstörungen zu erklären. Zugleich machen diese letzteren die Annahme DELAGES, dass das Bogenlabyrinth nur an der Vorstellung der Drehbewegung, nicht an derjenigen der Progressivbewegung betheiligt sei[2], wenig wahrscheinlich. Ebenso findet die Ansicht MACHS, die Bogengänge seien das die Wahrnehmung der Drehung, der Vorhof das die Wahrnehmung der Progressivbeschleunigung vermittelnde Organ, in den der Verletzung der einzelnen Bogengänge folgenden Erscheinungen kaum eine Stütze. Vielmehr machen es diese wahrscheinlich, dass die Vorhofsabtheilung der Ampullen und die Bogengänge ein gemeinsam functionirendes Organ bilden, wobei aber die Bogengänge durch ihre Richtungsunterschiede vorzugsweise für die Orientirungsempfindungen maßgebend sind. Auf diese Beziehung zu den Richtungen des Raumes scheint schon die anatomische Thatsache hinzuweisen, dass die Bogengänge zusammen eine Art von geometrischem Coordinatensystem bilden, das sich einem regelmäßig rechtwinkeligen gerade bei den Thieren mit vollkommenstem räumlichem Orientirungsvermögen am meisten nähert. Dem Menschen überlegen sind in dieser Beziehung viele Vögel, z. B. die Tauben, unter denen besonders die Varietät der Brieftauben durch ihre oft staunenswerthen Leistungen bekannt ist, und bei denen übrigens neben der Gesichts- auch die Geruchsempfindlichkeit eine Rolle zu spielen scheint[3]. Denkt man sich bei der Taube durch

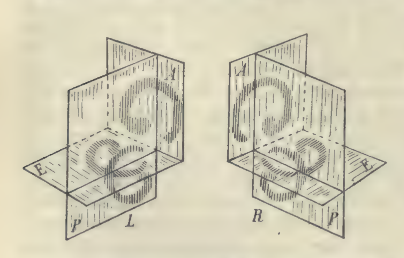


Fig. 241. Schema des Systems der Bogengänge bei der Taube, nach R. EWALD.

---

[1] EWALD, a. a. O. S. 301.
[2] DELAGE, a. a. O. S. 92 ff.
[3] Vgl. E. VON CYON, PFLÜGERS Archiv, Bd. 79, 1900, S. 243 ff.

die drei Bogengänge jederseits Ebenen gelegt, so nehmen diese bei genau horizontaler Richtung des Kopfes die in dem Schema der Fig. 241 angedeuteten Richtungen ein. Der Apparat erscheint hier von hinten gesehen: *R* bezeichnet also den der rechten, *L* den der linken Seite. Die sogenannten äußeren Bogengänge liegen horizontal und genau in gleicher Ebene (*E*). Die Ebenen des vorderen Canals (*A*) und des hinteren (*P*) sind so gestellt, dass sie wechselweise einander rechts und links parallel sind, also *AR* dem *PL*, *PR* dem *AL*, während sie zugleich in die Medianebene verlängert gedacht einen Winkel von ziemlich genau 45° mit einander bilden. Somit bestimmen die sechs Bogengänge zusammen geometrisch annähernd genau drei zu einander senkrechte Ebenen im Raum[1]. Von dieser fast vollkommenen geometrischen Regelmäßigkeit weichen immerhin die Verhältnisse beim Menschen und bei den meisten andern Thieren erheblich ab (Bd. 1, Fig. 133, S. 410). Bemerkenswerth ist aber noch die mächtige Entwicklung der Bogengänge bei den meisten Fischen, die anderseits nur die rudimentäre Andeutung einer Schnecke besitzen, und die in der That auch auf Schall nur sehr unsicher reagiren, so dass sie von vielen Beobachtern überhaupt für taub gehalten werden, während sie meist ein sehr vollkommenes Orientirungsvermögen besitzen. Eine Ausnahme bilden nur die Petromyzonten und Myxinoiden, von denen die ersteren zwei Bogengänge, die letzteren sogar bloß einen besitzen. Sie sollen sich aber auch durch eine abweichende Bewegungsweise und unvollkommenere Orientirungsfähigkeit auszeichnen. Noch auffallender ist ein solcher Zusammenhang bei der mehrfach untersuchten japanischen Tanzmaus, einer Varietät der weißen Maus, bei der eine erbliche, durch Züchtung entstandene Verkümmerung und ein irregulärer Verlauf der Bogengänge besteht. Ihren Namen führen diese Thiere von ihren fortwährenden heftigen Kreisbewegungen. Auch können sie sich nicht geradlinig, sondern nur in Zickzacklinien vorwärts bewegen. Sie sind entweder ganz oder nahezu taub und nach Versuchen auf der Drehscheibe scheinen sie dem Schwindel, gleich vielen Taubstummen, unzugänglich zu sein[2]. Wahrscheinlich beruht die ebenfalls durch auslesende Züchtung entstandene Bewegungsweise der sogenannten »Purzeltauben« auf ähnlichen Ursachen.

Geht man von der allgemeinen Annahme aus, dass das Bogenlabyrinth ein zunächst dem Tastsinn zugeordneter Sinnesapparat sei, so bleiben nun natürlich, ebenso wie bei allen andern Sinnesorganen, noch verschiedene Functionsweisen desselben möglich. Theils kann es Empfindungen vermitteln, die bei der Vorstellung des Gleichgewichts und der Bewegung des Kopfes mitwirken, theils kann es reflectorische Erregungen auslösen, durch welche die Muskeln zur Erhaltung des Körpergleichgewichts innervirt werden. Im letzteren Sinne haben im allgemeinen sowohl Ewald wie die Vertreter der statischen Hypothese die Ergebnisse der Versuche gedeutet. Die Auffassung des Bogenlabyrinths als eines Sinnesorgans schließt jedoch, in welcher Weise man sich dieses auch denken möge, principiell eigentlich immer die Annahme ein, dass es sowohl Empfindungen wie Reflexbewegungen oder dauernde reflectorische

---

[1] Ewald, Ueber das Endorgan des Nervus octavus, S. 78.

[2] Rawitz, Archiv für Physiologie, 1899, S. 236. Cyon, Pflügers Archiv, Bd. 79, 1900, S. 212. Alexander und Kreidl, ebend. Bd. 82, 1900, S. 541. Zoth, ebend. Bd. 86, 1901, S. 147.

Spannungen vermitteln könne. Auch scheint dies gerade durch die Beobachtung der Erscheinungen des Schwindels bestätigt zu werden, da die subjectiven Empfindungen hierbei weder aus den äußeren Tastempfindungen noch aus den Bewegungsempfindungen der Augen vollständig erklärt werden können. Ueberdies begreift sich die oben erwähnte Compensation der Störungen am einfachsten dann, wenn man annimmt, dass für gewisse in Wegfall gekommene Empfindungen andere, die ebenfalls mit der Stellung und Bewegung des Körpers gesetzmäßig zusammenhängen, vicariirend eintreten, aus denen sich dann allmählich infolge der Einübung neue reflectorische Verbindungen bilden. Fasst man das Bogenlabyrinth, wie oben geschehen, nach seinen genetischen Beziehungen und nach der Beschaffenheit der besonders beim Schwindel zu beobachtenden Empfindungen als inneres Tastorgan auf, so ergibt sich dann aber von selbst, dass es als solches zunächst zum Kopfe gehört, von dessen Stellungen und Bewegungen seine sensorischen und reflectorischen Erregungen abhängen, wie denn insbesondere die Augenbewegungen sichtlich einerseits in der Retina, anderseits in dem Bogenlabyrinth ihre hauptsächlichsten peripheren Reizgebiete haben[1]. Bei dem Einflusse, den der Kopf als Orientirungsorgan auf die übrigen Körpertheile ausübt, erklärt es sich aber, dass die Störungen der Orientirung desselben auf diese zurückwirken. Ueberdies wird, wie bei jeder Provinz des äußeren Tastorgans, so auch hier eine umfangreiche durch Leitungen zweiter Ordnung vermittelte Reflexverbindung mit den übrigen Körperorganen, namentlich mit den für die Stellungen und Bewegungen des Körpers neben dem Kopfe hauptsächlich wirksamen anzunehmen sein. Als dasjenige Centralgebiet, von welchem alle diese Reflexverbindungen des Tastnervenantheils des sogenannten Hörnerven ausgehen, ist hierbei, abgesehen von den Verbindungen mit dem Kleinhirn, wohl die Medulla oblongata anzusehen[2].

4. Localisation der Gehörsempfindungen.

Unsere Schallvorstellungen empfangen ihre räumliche Beziehung erst vermöge der Existenz eines Bildes der Außenwelt, in das sie eingetragen werden. Dieses Bild ist beim Sehenden und zumeist auch noch beim Erblindeten der Gesichtsraum, beim Blindgeborenen oder früh Erblindeten der Tastraum. Die Existenz eines besonderen Hörraumes, der von der qualitativen Beschaffenheit und räumlichen Ordnung der Gesichts- oder Tastempfindungen unabhängig wäre, ist demnach eine Fiction, die durch das unmittelbare Zeugniss jeder Art räumlicher Localisation widerlegt wird; und die Localisation der Gehörseindrücke kann hier nur insofern Gegen-

---

[1] Dem entsprechend fand auch KREIDL (a. a. O. S. 131), dass bei annähernd 50% von ihm untersuchter Taubstummer die bei der Drehung um die Körperachse zu beobachtenden Augenbewegungen fehlten. Bei den nämlichen Taubstummen fehlten die bei normalen Menschen im Drehschwindel regelmäßig zu beobachtenden Ablenkungen der scheinbar verticalen Geraden von der wirklichen Verticalen. (Vgl. unten Cap. XV.)

[2] EWALD, a. a. O. S. 284 ff. BECHTEREW, Die Leitungsbahnen im Gehirn und Rückenmark, S. 361 ff.

stand der Untersuchung sein, als darüber Rechenschaft zu geben ist, auf welche Weise die Schallvorstellungen in jenem gegebenen Raumbilde localisirt werden. Diese Localisation kann aber in zwei Vorstellungen zerlegt werden: in die der Richtung des Schalls, und in die der Entfernung der Schallquelle, aus welchen beiden Factoren dann noch die freilich meist sehr unbestimmte Vorstellung eines Schallorts hervorgehen kann.

Auf die Vorstellung der Richtung des Schalls scheint die relative Intensität der Schallempfindung einen gewissen Einfluss zu haben. Da das äußere Ohr als ein Schallbecher wirkt, welcher die von vorn kommenden Schallwellen aufsammelt, so sind wir geneigt, Eindrücke von bekannter Stärke dann nach vorn zu verlegen, wenn sie stärker empfunden werden. Wenn man daher das äußere Ohr am Kopfe festbindet und eine künstliche Ohrmuschel umgekehrt vorsetzt, so kann, wie Ed. Weber fand, der von hinten kommende Schall irrthümlich nach vorn verlegt werden[1]. Bei diesem Versuch wirken übrigens wohl auch Tastempfindungen mit. Da die Theile der Ohrmuschel eine sehr feine Druckempfindlichkeit besitzen, die vorn durch zarte Härchen noch vergrößert ist, so werden sich besonders bei stärkeren Schalleindrücken die Tastempfindungen auf beiden Ohrmuscheln je nach der Schallrichtung verschieden vertheilen. Neben ihnen scheinen dann aber noch Empfindungen, die an die Schwingungen des Trommelfells gebunden sind, maßgebend zu sein. Hierfür spricht namentlich die Beobachtung, dass rechts und links bei viel geringerer Schallstärke unterschieden werden als vorn und hinten, sowie dass bei den von vorn kommenden Schallstrahlen die genaueste Richtungsunterscheidung stattfindet[2]. Der Verschluss des einen Ohres stört ferner die Localisation. Diese ist somit in erster Linie eine Function des binauralen Hörens, worauf auch der Umstand hinweist, dass dieselbe dann besonders deutlich ist, wenn gewisse Partialtöne des Schalls durch die Resonanz im Gehörgang verstärkt werden[3]. Zugleich hängt damit wahrscheinlich die Erscheinung zusammen, dass Geräusche, in denen in der Regel hohe resonanzgebende Obertöne enthalten sind, genauer localisirt werden als einfache Klänge. Uebrigens werden auch hier Tastempfindungen bei der Unterscheidung mitwirken, indem, abgesehen von den Tastempfindungen des äußeren Ohres, vermuthlich auch die Schwingungen des Trommelfells sowie die Contractionen des Trommelfellspanners

---

[1] Ed. Weber, Berichte der kgl. sächs. Ges. der Wiss. zu Leipzig. Math.-phys. Cl. 1851, S. 29.

[2] Lord Rayleigh, Phil. Mag. (5) vol. 3, p. 455. J. von Kries, Zeitschrift für Psychologie und Physiologie d. S. Bd. 1, 1890, S. 235 ff.

[3] Steinhauser, Phil. Mag. (5) vol. 3, p. 181.

empfunden werden[1]. Eine Localisation im Innern des eigenen Kopfes beobachtet man bei den früher (S. 106) erwähnten binauralen Schwebungen zweier auf beide Ohren vertheilter Stimmgabeln von geringem Unterschied der Schwingungszahl. Dabei werden die Schwebungen genau in der Mitte des Kopfes localisirt, wenn beide Töne gleich stark sind, und sie wandern in dem Maße seitwärts, als der Ton der gleichen Seite an Stärke zunimmt[2]. Auch hier muss die Localisation wohl hauptsächlich auf die gleiche oder ungleiche Vertheilung der Trommelfellschwingungen zurückgeführt werden. Nur bei stärkeren Tönen dürften außerdem noch die Schwingungen der Kopfknochen mitwirken. Dieser Versuch zeigt zugleich, dass solche Tastempfindungen des Trommelfells, obgleich sie selbst jedenfalls nur sehr schwach empfunden werden, doch durch die Association mit dem Tast- und Gesichtsraum eine deutliche Ortsvorstellung erwecken können. Dabei gehört aber diese ganz dem associirten Raumbilde an, daher der Ort, in den die Schwebungen verlegt werden, von dem Ort der die Association auslösenden Tastempfindungen selbst völlig verschieden ist.

Noch unbestimmter als die Richtungs- ist in der Regel die Entfernungslocalisation. Sie setzt nicht bloß, wie jene, die Association mit dem durch Tast- und Gesichtssinn gegebenen Raumbilde, sondern außerdem speciellere Associationen mit geläufigen Schallvorstellungen voraus. Versagen diese, so fehlt sie entweder ganz oder ist von zufälligen Vorstellungsbildungen abhängig. Eine annähernd richtige Entfernungslocalisation kommt daher nur bei Schalleindrücken von bekannter Stärke vor, wo der Ort der Schallquelle in um so größere Entfernung verlegt wird, je geringer seine Empfindungsstärke ist; doch bleibt jene selbst in diesem Fall äußerst unbestimmt, und lässt sich durch willkürliche oder zufällige Lenkung der Aufmerksamkeit in hohem Grade beeinflussen. Die bekannten Täuschungen bei den Leistungen der Bauchredner beruhen durchaus auf solchen Einflüssen.

Die Frage, ob die Richtungslocalisation des Schalls eine directe, in analoger Weise an die Schallempfindungen gebundene sei, wie die räumlichen Vorstellungen des Gesichts- und Tastsinns an die Licht- und Tastempfindungen, oder ob sie, wie oben ausgeführt, nur mittelst indirecter Motive zu

[1] Ed. Weber (a. a. O. S. 30) fand daher, dass die Localisation ungenau wurde, wenn er die Ohrencanäle mit Wasser füllte. Ebenso fand Preyer (Pflügers Archiv, Bd. 40, 1887, S. 586 ff.) bei fehlendem Trommelfell zwar nicht Aufhebung, aber doch Abnahme der Localisationsfähigkeit. Den nämlichen Erfolg wie bei Webers Versuch sah Schmidekam (Exper. Studien zur Physiologie des Gehörorgans. Dissert. Kiel. 1868, S. 15) eintreten, wenn das Trommelfell von einem Luftraum umgeben blieb; doch werden auch hierbei wahrscheinlich die Schwingungen bis zu einem gewissen Grade gehindert.

[2] Urbantschitsch, Pflügers Archiv, Bd. 24, 1881, S. 579. K. L. Schäfer, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 1, 1890, S. 300.

stande komme, ist mehrfach erörtert worden. Für eine directe Richtungslocalisation sprach sich namentlich PREYER[1] aus auf Grund von Versuchen, bei denen er auf den Kopf eine Schallhaube setzte, von der nach den verschiedensten Richtungen Drähte ausgingen, an deren Enden schwache Geräusche hervorgebracht wurden. Aber für die Annahme PREYERS, dass den Ampullen der Bogengänge die Function zukomme, die Wahrnehmung bestimmter Schallrichtungen zu vermitteln, liegt in seinen eigenen Versuchen kein Beweis, da dieselben lediglich die oben erwähnten Unterschiede in der Genauigkeit der Richtungslocalisation bestätigen, die sich aus der Tastfunction der Ohrmuscheln und Trommelfelle ableiten lassen. Das nämliche gilt von MÜNSTERBERGS[2] Verfahren, der die Hypothese PREYERS dahin modificirte, dass er die Schalllocalisation aus den Muskelempfindungen ableitete, welche die im Ampullenapparat reflectorisch ausgelösten Kopfbewegungen begleiten sollen. Die eigenen Versuche MÜNSTERBERGS über die Unterschiedsempfindlichkeit für die Richtungslocalisation widerlegen, wie TITCHENER[3] bemerkt hat, diese Hypothese, da sich aus ihnen z. B. ergibt, dass in der Ruhestellung des Kopfes mit gerade nach vorn gerichtetem Blick sehr viel kleinere Verschiebungen der Schallrichtung in horizontaler als in sagittaler Richtung erkannt werden, was sich sehr leicht aus dem Einfluss der Ohrmuschel, aus Bewegungsreflexen aber gar nicht erklären lässt. Auch die von den Ohrenärzten beobachteten Localisationsstörungen bei plötzlich eintretenden Mittelohrerkrankungen weisen auf die nämlichen Bedingungen hin[4].

5. Theorie der Localisation und der räumlichen Tastvorstellungen.

Für die Erklärung der Tastvorstellungen bietet sich, wie für die Theorie der Sinneswahrnehmungen überhaupt, ein doppelter Ausgangspunkt. Man kann entweder auf die ursprünglichen Einrichtungen, auf den Einfluss des Nervenreichthums, der specifischen Tastorgane, der Wachsthumsverhältnisse der Haut zurückgehen. Oder man kann vorzugsweise die Bewegung der Theile, die Uebung, die Bedeutung begleitender Gesichtsbilder berücksichtigen, Einflüsse, welche die räumliche Unterscheidung als eine von psychologischen Motiven abhängige Function erscheinen lassen. HELMHOLTZ hat die Theorien der ersten Richtung als die nativistischen, die der zweiten als die empiristischen bezeichnet[5]. Da aber nicht jede psychologische, der nativistischen Anschauung widerstrebende Theorie eine empiristische genannt werden kann, so werden wir die Ausdrücke nativistisch und genetisch, die ohnehin die thatsächlich vorhandenen Gegensätze begrifflich schärfer bezeichnen, vorziehen.

[1] PFLÜGERS Archiv, Bd. 40, 1887, S. 586 ff.
[2] Beiträge zur exper. Psychologie, S. 182 ff.
[3] Mind, vol. 16, 1891, p. 526.
[4] BEZOLD, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 1, 1890, S. 486.
[5] HELMHOLTZ, Physiologische Optik[1], S. 435, [2] S. 608.

Dann lässt sich die genetische Ansicht wieder in zwei Unterformen sondern: in die *empiristische*, welche die Raumvorstellung als ein Product der Erfahrung betrachtet, und in die *Associations- oder Verschmelzungstheorie*, welche Associationsprocesse, insbesondere associative Verschmelzungen, die der Erfahrung vorausgehen, als deren Grundlagen ansieht.

Die *nativistische* Theorie pflegt speciell beim Tastsinn an dem Begriff des *Empfindungskreises* im Sinne einer fest gegebenen anatomisch-physiologischen Einheit festzuhalten. Jedem Empfindungskreis entspricht, so wird in der Regel angenommen, eine einzige Nervenfaser, die als solche ein einziges Raumelement im Sensorium repräsentirt. Nach der *empiristischen* Theorie stehen die Empfindungskreise in gar keiner directen Beziehung zur physiologischen Organisation, sondern sie sind nur ein Ausdruck für die jeweils vorhandene Feinheit der räumlichen Unterscheidung, und diese wird durch die Erfahrung bestimmt. Aber keine dieser beiden Ansichten vermag die Thatsachen zureichend zu erklären. Der Nativismus weist natürlich mit Recht auf ursprüngliche Structurbedingungen hin, die allen Erfahrungseinflüssen ziemlich enge Schranken ziehen, so dass die Feinheit der Localisation durch noch so viel Erfahrung und Uebung nicht über eine gewisse Grenze hinaus geschärft werden kann. Aber es ist ein falscher Schluss, wenn die nativistische Theorie deshalb, weil jene Bedingungen angeborene sind, nun auch die räumliche Ordnung selbst für eine angeborene ansieht. Dem Empirismus hinwiederum kann nicht widersprochen werden, wenn er der Erfahrung einen Einfluss zuschreibt. Aber damit ist doch noch nicht bewiesen, dass alle Tastvorstellungen aus der Erfahrung entspringen. Denn Erfahrung und Uebung können erst ihre Hebel ansetzen, wenn überhaupt schon eine Raumvorstellung existirt. Damit sind wir zugleich zu dem entscheidenden Punkt gelangt, den Nativismus und Empirismus beide verfehlen. Die Theorie der Tastvorstellungen hat zu erklären, *wie aus den angeborenen Organisationsbedingungen die räumliche Ordnung der Tastempfindungen nach physiologischen und psychologischen Gesetzen entsteht.* Da die letzteren aber überall, wie sich das bei der Untersuchung der einzelnen Erscheinungen gezeigt hat, auf associative Processe zurückgehen, so werden wir damit von selbst zu der *zweiten* Form der genetischen Theorie, zur *Associations- oder Verschmelzungstheorie* geführt. Sie will einerseits die Einflüsse der Structur in ihre Rechte einsetzen, und anderseits nicht minder einen psychologischen Ausgangspunkt gewinnen, an den sich jene secundären psychischen Einflüsse, die man in die unbestimmten Begriffe der »Erfahrung« und »Uebung« zusammenfasst, als wesentlich gleichartige

Processe anschließen können. Dabei kann nun freilich von einer endgültigen Behandlung des psychologischen Raumproblems hier noch keine Rede sein. Dazu fehlt es uns an der Untersuchung desjenigen Sinnesgebiets, auf dessen überragenden Einfluss die Erscheinungen im Tastgebiet selbst überall hinweisen: des Gesichtssinnes[1]. So sollen denn hier zunächst nur diejenigen Gesichtspunkte hervorgehoben werden, die sich aus den mitgetheilten Beobachtungen für das Tastgebiet selbst ergeben.

Hier ist nun das einfachste Problem das der Localisation eines Eindrucks oder mehrerer Eindrücke, wie sie z. B. bei den WEBERschen Versuchen stattfindet. Dieses einfachste Problem erledigt sich für den Sehenden sowie für den Blinden, dessen Wahrnehmungen wesentlich noch in Erinnerungsbildern des Gesichtssinnes bestehen, so zu sagen von selbst durch das, was die innere Wahrnehmung und die Variation der Bedingungen, die wir bei diesen Versuchen vornehmen können, lehren. Diese Localisation vollzieht sich bei uns nie ohne den Gesichtssinn, und wir sind also vollauf berechtigt zu schließen, dass sie durch den Gesichtssinn, durch die unmittelbare Association eines Gesichtsbildes mit dem Tasteindruck erfolgt. Es kann sich daher in diesem Fall nur noch um die Frage handeln, wodurch der Tasteindruck im stande ist, jene Association zu erwecken. Auch darauf ist aber auf Grund der Selbstbeobachtung eigentlich nur eine Antwort möglich: die Association erfolgt durch die qualitative Eigenthümlichkeit der Empfindung an der betreffenden Hautstelle, welche Eigenthümlichkeit dieselbe wesentlich durch die Structur, den Nervenreichthum und sonstige Verhältnisse gewinnt. In der That können wir ja, wie früher (S. 455) schon bemerkt wurde, solche von dem Ort der Berührung abhängige Variationen der Qualität der Druckempfindung in etwas größeren Entfernungen ohne Schwierigkeit beobachten, wenn sich auch die gleichzeitig stattfindenden Localisationen gewissermaßen störend einmengen und bei sehr kleinen Distanzen wohl auch den eigentlichen, qualitativen Unterschied der Empfindungen verdecken. Böte aber die Tastempfindung der einzelnen Theile solche Unterschiede nicht wirklich dar, so wäre in der That schwer zu begreifen, wie wir bei weggewandtem Blick sofort mit dem Tasteindruck das Gesichtsbild associiren können. Denn wollte man auch noch so viele angeborene Localisationseinrichtungen in der Haut selbst annehmen, so würde doch ein physiologischer Mechanismus, der nun sofort das dazu passende Gesichtsbild erweckte, eine allzu unwahrscheinliche Hypothese

[1] Vgl. Cap. XIV, 6, wo auch die oben kurz gekennzeichneten psychologischen Raumtheorien eingehender erörtert sind.

sein, der die einfache Voraussetzung, die gereizte Stelle werde an der ihr eigenen Qualität der Empfindung erkannt, jedenfalls vorzuziehen ist.

Wir werden also dazu gedrängt, eine locale Färbung der Tastempfindungen vorauszusetzen, die sich über die ganze Hautoberfläche stetig verändert. Die einer jeden Hautstelle zukommende locale Färbung wollen wir, einen von LOTZE[1] in allgemeinerem Sinne eingeführten Ausdruck benützend, das Localzeichen derselben nennen. Wir nehmen, demnach in Uebereinstimmung mit den bei größeren Distanzunterschieden direct zu beobachtenden Qualitätsunterschieden, an, jeder Hautstelle komme ein bestimmtes Localzeichen zu, das in einer vom Ort des Eindrucks abhängigen Qualität der Empfindung bestehe. Mit der Stärke des äußern Eindrucks nimmt, wie bei allen Empfindungsqualitäten, bis zu einer gewissen Grenze die Deutlichkeit des Localzeichens zu, daher sehr schwache Eindrücke undeutlichere Gesichtsbilder erwecken, weshalb wir sie unvollkommener localisiren als solche von etwas größerer Stärke. Es ist ferner wohl anzunehmen, dass die Localzeichen zunächst an die Tastempfindungen der Hautoberfläche gebunden sind; doch werden jedenfalls auch die unter der Haut gelegenen, von sensibeln Nerven versorgten Weichtheile, namentlich die Muskeln und Gelenke, an denselben betheiligt sein. Am feinsten abgestuft sind sie an den mit besonderen Tastapparaten versehenen Stellen (S. 451 f.). Für die Geschwindigkeit, mit der sie sich an den verschiedenen Theilen des Körpers ändern, gibt uns die Größe der sogenannten Empfindungskreise ein gewisses Maß. Wegen der meist längsovalen Gestalt dieser Bezirke werden sich demnach in der Regel die Localzeichen in der Längsrichtung der Theile langsamer als in der queren verändern, und im übrigen wird zwar die Geschwindigkeit ihrer Abstufung außerordentlich variiren, jedoch wahrscheinlich nicht in so hohem Grade, als die gewöhnlichen Unterschiede im Durchmesser der Empfindungskreise erwarten lassen, da diese Unterschiede durch die Uebung zum Theil ausgeglichen werden. Schließlich wird vorauszusetzen sein, dass für symmetrische Stellen beider Körperhälften die Localzeichen zwar ähnlich, aber nicht identisch sind. Für ihre Aehnlichkeit sprechen, abgesehen von der Erwägung, dass übereinstimmende Structurverhältnisse des Tastorgans auch eine übereinstimmende Beschaffenheit der Empfindung mit sich führen müssen, namentlich die Beobachtungen über die unwillkürliche Mitübung der correspondirenden Theile einer Seite, wenn die andere durch Uebung vervollkommnet wurde, sowie die Erscheinungen der »Allocheirie« (S. 455 f.). Dass aber bei allem dem eine gewisse Verschiedenheit an symmetrischen und verwandten Theilen besteht,

[1] LOTZE, Medicinische Psychologie, 1851, S. 331.

schließen wir theils aus der thatsächlichen Unterscheidung, theils aus den Differenzen der Structur, die bei noch so großer Aehnlichkeit immerhin vorkommen. Für die Localzeichen der tieferen Theile dürfte hierbei außerdem die ungleiche Ausbildung und Uebung der Bewegungen beider Körperhälften in Betracht kommen.

Geht man von diesen unmittelbar an die beobachteten Thatsachen sich anschließenden Annahmen aus, so ist nun das Problem der Localisation höchstens in dem Sinne noch Gegenstand der Hypothese, als hier für die Entstehung der Association des Gesichtsbildes zum zugehörigen Tasteindruck diejenige Voraussetzung gemacht wird, welche die sonst geltenden allgemeinen Bedingungen der Association auch auf diesen Fall anzuwenden erlaubt. Die Localisation der Tasteindrücke des Sehenden geschieht unmittelbar durch die Eintragung dieser Eindrücke mittelst der jeder Hautstelle eigenen localen Färbung der Empfindungen in den Gesichtsraum. Damit ist einerseits das Problem der räumlichen Tastvorstellungen für diesen Fall auf den Gesichtssinn übertragen, und es sind anderseits alle die Hypothesen, welche umgekehrt das psychologische Raumproblem vom Gesichts- auf den Tastsinn zurückzuschieben suchen, beseitigt. Es ergibt sich aber auch noch eine andere, allgemeinere Folgerung: wenn bei den Wahrnehmungen des sehenden Menschen die räumliche Ordnung der Tasteindrücke ein Product associativer Processe ist, so ist es nicht wahrscheinlich, dass sie da, wo der Gesichtssinn versagt, auf einem von Grund aus verschiedenen Wege erfolgen werde, sondern es ist zu vermuthen, dass nun andere Empfindungen für die fehlenden des Gesichtssinnes eintreten.

In diesem Fall nun, in welchem der Tastsinn ganz auf sich selbst angewiesen erscheint, in dem des Blindgeborenen und früh Erblindeten, weist die Beobachtung unmittelbar auf die Bewegung der Tastorgane, als den für die Tastwahrnehmung neben den Empfindungen der Haut nächst wesentlichen Factor hin. Nach der Beweglichkeit der Tastorgane richtet sich durchweg die Feinheit der Localisation (S. 453). Fehler derselben werden mittelst tastender Bewegungen verbessert; Entfernungen, die das ruhende Tastorgan nicht erkennt, werden mit dem bewegten deutlich aufgefasst; bei der Uebung endlich kommt den Bewegungen eine wichtige Rolle zu. Diesen Einfluss können aber die Bewegungen wiederum nur mittelst der an sie geknüpften Empfindungen ausüben. Nun können mit den eigentlichen Tastempfindungen die früher (S. 31) geschilderten sogenannten »Bewegungsempfindungen« in dreifacher Weise combinirt sein. Erstens verbinden sich, indem wir unser Tastorgan an den Gegenständen hinbewegen und so successiv von einander entfernte

Punkte berühren, mit einer und derselben Tastempfindung Bewegungsempfindungen verschiedenen Grades. Zweitens können wir unser eigenes Tastorgan betasten, wo Bewegungs- und Tastempfindung verschiedenen Theilen angehören. Drittens entstehen beide Empfindungen im Vereine, sobald wir überhaupt unsere Glieder bewegen, in Folge der von den letzteren auf einander ausgeübten Dehnungen und Pressungen. Es lässt sich vermuthen, dass diese dritte Verbindung für die erste Ausbildung der äußeren Tastvorstellungen vorzugsweise von Bedeutung sein wird. Denn aus ihr geht jedenfalls die ursprünglichste räumliche Auffassung hervor, die Unterscheidung unserer Körpertheile in Bezug auf ihre Lage im Raume. Je größer die Beweglichkeit der Theile gegen einander ist, um so schärfer werden dieselben gesondert werden können; und zugleich ist damit für die durchgängige Abhängigkeit der Feinheit räumlicher Unterscheidung von der Beweglichkeit der Organe die nächste Bedingung gegeben. Auch erklärt es sich hieraus, dass selbst beim Sehenden der Umstand, ob die tastenden Organe durch das Gesicht wahrgenommen werden können, trotz der Vorherrschaft der Gesichtsvorstellungen auf die Feinheit der Raumschwelle keinen bemerkbaren Einfluss ausübt[1]. Der Gesichtssinn bestimmt eben nur die allgemeine Beschaffenheit des Raumbildes und die Einordnung der Tasteindrücke in dasselbe; die Unterscheidung dieser ist aber ausschließlich an die specifischen Functionen des Tastsinnes selbst, also theils an die Abstufung der localen Empfindungsfärbung theils an die Tastbewegungen gebunden.

Nach dem allgemeinen Associationsgesetze, das uns in einer andern speciellen Anwendung bereits bei der Bildung der intensiven Gehörsvorstellungen (S. 417) begegnet ist, verschmelzen nun Empfindungen, die häufig verbunden gewesen sind, dergestalt mit einander, dass auch in solchen Fällen, wo nur einige derselben unmittelbar durch Reize wachgerufen werden, die andern sich als reproductive Elemente hinzugesellen. Demnach verschmelzen auch die Haut- und Bewegungsempfindungen zu untrennbaren Complexen. Indem wir unsern Arm bewegen wollen, entsteht, noch bevor die Bewegung wirklich ausgeführt wird, eine reproducirte Spannungsempfindung, mit der zugleich das blasse Erinnerungsbild der Hautempfindungen, welche die Bewegung begleiten werden, verbunden ist. So kommt es, dass sich unmittelbar mit der motorischen Innervation die Vorstellung des bewegten Körpertheils und eine unbestimmte Vorstellung der Bewegung, die derselbe ausführen soll, associirt. Wir kennen in der That weder Haut- noch Spannungsempfindungen in ihrem vollkommen isolirten Bestehen. Wo ein bestimmter Reiz unmittelbar nur

[1] E. H. WEBER, Annotat. anat. p. 75.

die einen oder anderen hervorruft, da werden sie dennoch durch Reproduction zu einem Empfindungscomplexe ergänzt, der die räumliche Anschauung bereits mit sich führt. Bei normalem Empfindungszustande ist es also niemals möglich, die Elemente dieser Anschauung isolirt zu beobachten. Nun enthält das Continuum der Localzeichen an und für sich noch nichts von der Raumvorstellung. Diese kann aber auf doppelte Weise aus demselben hervorgehen: erstens durch die Association mit dem Sehraum: das ist die vorherrschende Form beim sehenden Menschen; und zweitens durch die associative Verschmelzung mit den Spannungsempfindungen: das ist, wie wir folgerichtiger Weise annehmen müssen, die Raumform des Blindgeborenen. Von ihr kann sich der Sehende selbstverständlich keine Vorstellung machen, da der Mangel der Gesichtsbilder eine unerlässliche Bedingung ihrer Entstehung ist. Wir können nur schließen, dass die allgemeinen, für die Orientirung maßgebenden Eigenschaften dieses reinen Tastraumes mit denen unseres Gesichtsraumes im wesentlichen übereinstimmen müssen. Wir nehmen demnach an, dass die Spannungsempfindungen in ihrer von dem Bewegungsumfang abhängigen intensiven Abstufung für die beiden Dimensionen des qualitativen Systems der Localzeichen ein gleichförmiges Maß abgeben und eben hierdurch die Anschauung einer stetigen Mannigfaltigkeit, deren Dimensionen unter einander gleichartig sind, vermitteln. Die Form der Fläche, in welche die Localzeichen geordnet werden, ist zunächst völlig unbestimmt. Sie wechselt mit der Form der betasteten Gegenstände. Durch die Bewegungsgesetze der Gliedmaßen sind aber solche Lageänderungen bevorzugt, bei denen sich das Tastorgan geradlinig den Gegenständen entgegen oder an ihnen hinbewegt. Indem so die Gerade zum bestimmenden Element des Tastraumes wird, erhält der letztere die Form eines ebenen Raumes, in welchem die in ihrer Krümmung wechselnden Flächen, die wir durch Betastung wahrnehmen, auf drei geradlinige Dimensionen zurückgeführt werden können. Diese eigenthümliche Association können wir hiernach mit Rücksicht auf die Beschaffenheit der aus ihr hervorgehenden Vorstellungsgebilde als eine extensive Verschmelzung bezeichnen. Der Ausdruck Verschmelzung weist zunächst wieder auf die Innigkeit der Verbindung der Elemente, sodann aber darauf hin, dass das entstandene Product neue Eigenschaften besitzt, die seinen Bestandtheilen noch nicht zukamen. Eben darum lassen sich die Elemente, aus denen die Producte sich bilden, erst durch die psychologische Analyse nachweisen. Die letztere kann aber hinwiederum auf die Elemente, da diese, wie oben bemerkt, nie isolirt vorkommen, nur aus den Veränderungen zurückschließen, welche die Vorstellungen, deren Bestandtheile sie bilden, unter verschiedenen Bedingungen erfahren.

Indem die psychologische Analyse die genannten Elemente auffindet, führt sie damit zugleich auf bestimmte physiologische Bedingungen, welche dem Verschmelzungsprocess vorausgehen. Es muss nämlich 1) den Bewegungsempfindungen die Eigenschaft zukommen, bei der Transformation des ungleichartigen in ein gleichartiges Continuum zur Abmessung dienen zu können; sodann muss 2) das Tastorgan für die Ausbildung und Abstufung der Localzeichen die erforderlichen Anlagen der Structur besitzen; und endlich wird 3) nach physiologischen Vorbedingungen zu suchen sein, die den Act der Verschmelzung vermitteln helfen. Der ersten dieser Forderungen kommen die Bewegungsempfindungen durch ihre an den wechselnden Umfang der Bewegungen gebundenen Intensitätsunterschiede nach. Durch diese bilden sie an jedem, selbständig in einem Gelenk beweglichen Körpertheil eine fein abgestufte Intensitätsreihe bei im wesentlichen qualitativ gleichartiger Beschaffenheit der Empfindung. Zweifelhafter kann man darüber sein, aus welchen Eigenthümlichkeiten des Tastorgans die Localzeichen zu erklären sind. So können Structurverschiedenheiten der nicht-nervösen Hautbestandtheile und der subcutanen Gewebe möglicherweise eine locale Färbung der Empfindungen mitbedingen. Aber von größerem Gewicht scheinen doch die Verhältnisse der Nervenvertheilung selbst zu sein, da die feiner localisirenden Theile reicher an Nerven und an besonderen Tastapparaten sind. Nun ist es kaum wahrscheinlich, dass etwa an jede Nervenfaser an und für sich schon ein Localzeichen gebunden sei. Dagegen ist es wohl denkbar, dass eine Hautstelle, in der sich zahlreichere Fibrillen verzweigen, eben deshalb eine qualitativ etwas andere Empfindung vermittelt, als eine solche, in der nur wenige sich ausbreiten, und an den Endigungen der Nerven in besonderen Tastapparaten werden möglicherweise schon bei unmittelbarer Nachbarschaft der letzteren solche Unterschiede sich ausprägen können. Folgt man dieser Vorstellung, so wird im allgemeinen die Feinheit der Localisation nicht sowohl von der absoluten Zahl der Nervenfasern, als vielmehr von der Geschwindigkeit abhängen, mit der sich von einer Stelle zur andern die Zahl der Fibrillen ändert. Diese Aenderung geschieht aber an den nervenreichsten Theilen am schnellsten. Einen Empfindungskreis werden wir nun einen solchen Hautbezirk nennen, in dem die Nervenausbreitung so gleichförmig ist, dass, namentlich solange die Eindrücke nicht als punktförmige mit distincten Tastapparaten in Berührung kommen, locale Empfindungsunterschiede von merklicher Größe nicht entstehen. In der That bestätigt dies die Erfahrung, insofern an allen Hautstellen, die sich durch genaue Localisation auszeichnen, wie z. B. an den Fingerspitzen, auch die Feinheitsunterschiede nahe bei einander gelegener Stellen am größten sind. Jene Interferenz der Empfindungskreise, welche die Fig. 238 (S. 450) für die horizontale Richtung veranschaulicht, erklärt sich leicht aus dieser Vorstellung. An jedem Punkt der Haut muss ja ein neuer Empfindungskreis beginnen, insofern für jeden ein bestimmtes Maß der geänderten Nervenvertheilung existirt, innerhalb dessen die Veränderung des Localzeichens unmerklich ist. Zugleich ist deutlich, dass die Grenze der localen Unterscheidung keine fest bestimmte sein kann. Denn die Abstufung der Localzeichen, bez. der ihnen zu Grunde liegenden Nervenvertheilung, ist eine stetige, so dass bei fortgesetzter Uebung auch solche Unterschiede noch erkannt werden, die ursprünglich der Beobachtung entgehen. Leicht fügen sich dieser Hypothese ferner die Beobachtungen über den Einfluss des Wachs-

thums (S. 452), da hierbei die Zahl der auf eine bestimmte Hautfläche kommenden Nervenfibrillen annähernd ungeändert bleibt, also die Schnelligkeit in der Abstufung der Nervenvertheilung sich vermindern muss. Man hat nun allerdings in der besonders feinen Unterscheidungsfähigkeit der von MAGNUS BLIX und GOLDSCHEIDER entdeckten Druckpunkte eine dieser Anschauung sowie der Annahme von Localzeichen überhaupt entgegenstehende Schwierigkeit zu finden geglaubt. GOLDSCHEIDER bezieht die beträchtliche Differenz, die zwischen den von ihm gefundenen Minimaldistanzen zweier mittelst der Druckpunkte unterschiedener Eindrücke und den WEBER'schen Empfindungskreisen besteht, darauf, dass es sich im letzteren Fall um eine Summation vieler localer Empfindungen handle, bei denen sowohl Druckpunkte wie andere Nervenausbreitungen betheiligt seien, während im ersten bloß die specifischen Druckorgane erregt würden[1]. Diese Interpretation wird man wohl als eine zutreffende betrachten können. Wenn aber der nämliche Beobachter schließt, hierdurch sei die Localzeichentheorie widerlegt, so kann man dem nicht beistimmen. Im Sinne der Localzeichentheorie sagt jener Befund eben nur, dass die Druckpunkte bez. die muthmaßlich überall mit ihnen zusammenfallenden speciellen Tastapparate Punkte feinster localer Färbung der Empfindungen seien; und dies ist wegen des Nervenreichthums und der sonstigen besonderen Structurverhältnisse dieser Gebilde an sich wahrscheinlich. Sieht man dagegen in den Druckpunkten starre anatomische Substrate für die räumliche Auffassung, so wird man mit GOLDSCHEIDER genöthigt, zweierlei Empfindungen zu statuiren, die ganz verschiedenen Bedingungen unterworfen sind: einmal die der Druckpunkte, die gewissermaßen dem nativistischen System gehorchen, und sodann die der dazwischenliegenden Hautpartien, deren Ortsempfindlichkeit nach dem empiristischen System zugeschnitten ist, indem alle die oben erörterten Einflüsse der Uebung und sonstiger psychologischer Bedingungen aus den veränderlichen Empfindungsbedingungen dieser Zwischengebiete abgeleitet werden. Um eine solche Annahme der weit einfacheren, welche die Localzeichentheorie gewährt, vorzuziehen, müsste doch erst bewiesen werden, dass die Ortsempfindlichkeit der Druckpunkte nicht der Uebung unterworfen sei. Dieser Beweis lässt sich aber nicht führen, denn GOLDSCHEIDER selbst gibt an, dass sich die im Anfang gefundenen Minimaldistanzen bei den späteren Untersuchungen als zu groß herausstellten[2]. Das ist aber genau dasselbe, was man bei der Untersuchung der WEBER'schen Empfindungskreise findet und als Einfluss der Uebung deutet.

Die physiologischen Bedingungen, welche der Verschmelzung der beiden in der räumlichen Tastvorstellung zusammenwirkenden Empfindungssysteme der Haut- und Bewegungsempfindungen zu Grunde liegen, können allein centraler Natur sein. Denn die Grundlage dieser Verschmelzung ist die Verbindung von Sinneseindrücken und Bewegungsimpulsen, wie sie nur in bestimmten Centralherden des Nervensystems stattfindet. Als Gebilde, welchen diese Function speciell für das Tastorgan und die ihm zugeordneten Muskelbewegungen höchst wahrscheinlich zukommt, haben wir früher die Sehhügel kennen gelernt, complicirte Reflexcentren, von welchen die auf bestimmte Tasteindrücke erfolgenden zusammengesetzten Bewegungsreactionen ausgehen[3]. Den physiologischen

[1] GOLDSCHEIDER, Archiv für Physiologie, 1855, Suppl., S. 95 ff.
[2] A. a. O. S. 85. [3] Cap. VI, Bd. 1, S. 266.

Grund für die Association der Bewegungs- und Hautempfindungen müssen wir sonach in jenem centralen Mechanismus suchen, der den Empfindungen bestimmte Bewegungen anpasst, und der wahrscheinlich innerhalb der Großhirnrinde seine besondere Vertretung hat. Die Zergliederung der geordneten Körperbewegungen weist endlich schon auf eine nähere Verbindung einerseits der symmetrischen Theile beider Körperhälften, anderseits der functionell einander zugeordneten Regionen, wie z. B. der einzelnen Finger, hin. Hierin möchte dann eine physiologische Bedingung jenes Einflusses gegeben sein, welchen ein direct geübter Theil auf andere symmetrische oder in functioneller Verbindung stehende in der Form der Mitübung äußert.

Auf eine nähere kritische Würdigung der Raumtheorien, namentlich der nativistischen und empiristischen, kann, wie oben bemerkt, erst im nächsten Capitel eingegangen werden. Hier sei daher nur kurz auf diejenigen allgemeinen Behandlungen des psychologischen Raumproblems hingewiesen, die vorzugsweise den Tastsinn, als den allgemeinsten Raumsinn, zu ihrer Grundlage genommen haben. Die Ansicht, dass der Tastsinn durch den Zwang, dem seine Empfindungen unterworfen seien, unmittelbar die Vorstellung der Außenwelt vermittle, in der Bildung dieser Vorstellung aber in der mannigfaltigsten Weise durch Erfahrungseinflüsse bestimmt sei, ist seit LOCKE[1] in der Psychologie und Philosophie des 18. Jahrhunderts die vorherrschende. Mit besonderem Erfolg vertreten diese halb nativistische, halb empiristische Ansicht, die den Tastsinn zum ursprünglich objectivirenden Sinn erhebt, BERKELEY[2] und CONDILLAC. In Deutschland begünstigte dann vom Anfang des 19. Jahrhunderts an KANTS Lehre von den Anschauungsformen eine streng nativistische Richtung. Indem man den Raum als die angeborene Form der äußern Sinnesanschauung betrachtete, meinte man auch die einzelnen räumlichen Vorstellungen aus den gegebenen Einrichtungen der Sinnesorgane und des Nervensystems ableiten zu sollen. So stellte J. MÜLLER den Satz auf, jeder Punkt, in dem eine Nervenfaser ende, werde im Sensorium als Raumtheilchen vorgestellt. Wir haben nach ihm eine ursprüngliche Vorstellung unseres Körpers vermöge der Durchdringung desselben mit Nerven; ebenso ist mit den Empfindungen der Muskeln oder vielleicht auch mit der Innervation bestimmter motorischer Nervenfasern unmittelbar eine Vorstellung der bei der Bewegung zurückgelegten Räume verbunden[3]. Auf denselben Anschauungen beruht E. H. WEBERS Lehre von den Empfindungskreisen. In der ursprünglichen Fassung dieser Lehre ist der Empfindungskreis diejenige Hautstrecke, welche von einem Nervenfaden versorgt und daher als eine räumliche Einheit empfunden wird. Später modificirte WEBER seine Theorie, um sie gegen verschiedene Einwände sicherzustellen, indem er annahm, die Empfindungskreise seien sehr kleine Hautflächen, so dass zwischen zwei Eindrücken immer deren mehrere gelegen sein müssten; er führte hierauf die Vorstellung des zwischen den Eindrücken gelegenen Zwischenraums zurück. Auch glaubte er jetzt, dass die Bestimmung des Ortes, wo ein Eindruck stattfinde, wahrscheinlich erst durch Erfahrung geschehe. Den neben einander liegenden substituirte dann CZERMAK

[1] Essay concerning human understanding. 1709.
[2] Theory of vision, § 54 ff.
[3] Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns, S. 508.

interferirende Empfindungskreise, wodurch er diesen Begriff wieder in seine ursprüngliche Bedeutung, als diejenige Flächengröße, in der räumlich getrennte Eindrücke zusammenfallen, glaubte einsetzen zu können[1].

Sobald man, wie es in diesen späteren Umgestaltungen der Lehre von den Empfindungskreisen der Fall ist, der Erfahrung einen wesentlichen Einfluss auf die Feststellung der räumlichen Beziehungen zugesteht, so ist aber damit die Frage nach den psychologischen Motiven eines solchen Einflusses gegeben. Hier ist nun der Uebergang von der vermittelnden Ansicht, wie sie Weber und seine Nachfolger versuchten, zu solchen Hypothesen, die nicht bloß die spätere Vervollkommnung der räumlichen Tastvorstellungen, sondern überhaupt ihre Entstehung aus einer psychologischen Entwicklung abzuleiten suchen, nahe gelegt. Dieser Hypothesen lassen sich vier unterscheiden: zwei rein psychologische, die die Raumanschauung lediglich aus dem Wesen der Seele oder dem Verlaufe ihrer Vorstellungen herzuleiten suchen; und zwei psychophysische, die daneben bestimmte physiologische Vorbedingungen statuiren. Nach der ersten beruht die Raumvorstellung auf dem untheilbaren, einfachen Wesen der Seele, welches die Verschmelzung mehrerer gleichzeitig gegebener Empfindungen in ein intensives Vorstellen verhindert und daher Ursache wird, dass dieselben neben einander geordnet werden. Nach dieser von Th. Waitz[2] vertretenen Ansicht kann dann die speciellere räumliche Ordnung der Eindrücke als Product der Erfahrung aus psychologischen Vorgängen secundärer Art abgeleitet werden, wobei auch hier wieder der Tastsinn als der ursprüngliche Raumsinn betrachtet wird. Nach der zweiten, von Herbart aufgestellten Hypothese geht die Raumvorstellung aus einer Succession von Empfindungen hervor, welche in die räumliche Form geordnet werden, sobald ihre Reihenfolge sich umkehren kann. Hier gilt die Bewegung, z. B. des tastenden Fingers, nur insofern bei der Raumanschauung als wirksam, als sie eine Succession der Vorstellungen vermittelt, und sie kann daher auch durch eine Hin- und Herbewegung des äußern Objects ersetzt werden[3]. Die dritte Hypothese ist die Localzeichenhypothese in der von Lotze aufgestellten Form. Der Seele als unräumlichem Wesen sollen danach nur intensive Zustände ursprünglich eigen sein. Zur Entstehung eines räumlichen Auseinandertretens bedarf es daher eines hinzukommenden Nervenprocesses, welcher der Empfindung ein Zeichen beigibt, durch welches diese auf einen bestimmten Ort im Raume bezogen werden kann. Ein solches Localzeichen kann bei den verschiedenen Sinnesorganen möglicherweise eine verschiedene Beschaffenheit besitzen. Erforderlich ist nur, dass alle Localzeichen Glieder einer geordneten Reihe sind. Speciell beim Tastsinn vermuthet Lotze, dass sie aus einem System von Mitempfindungen bestehen, welche durch die Ausbreitung des

---

[1] Czermak, Sitzungsber. der Wiener Akad., 3, Bd. 15, S. 466, und Bd. 17, S. 577, 1855. Vgl. über diese und einige andere Theorien über die sog. Empfindungskreise meine Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, S. 14 ff.

[2] Lehrbuch der Psychologie als Naturwissenschaft, 1849, § 18.

[3] Herbart, Psychologie als Wissenschaft. Werke, Bd. 6, S. 119 f. »Beim Vorwärtsgehen sinken allmählich die ersten Auffassungen und verschmelzen, während des Sinkens sich abstufend, immer weniger und weniger mit den nachfolgenden. Beim mindesten Rückkehren aber gerathen sämmtliche frühere Auffassungen, begünstigt durch die vielen jetzt hinzukommenden, die ihnen gleichen, ins Steigen.« So geschieht es, »dass jede Vorstellung allen ihre Plätze anweist, indem sie sich neben und zwischen einander lagern müssen«. Vgl. dazu Lotze, Wagners Handwörterbuch der Physiologie, Bd. 3, S. 177.

Reizes auf umgebende Theile verursacht werden[1]. Da diese Theorie an sich nicht begreiflich macht, wie derartige qualitative Signale zu Hülfsmitteln der Ortsunterscheidung werden, wenn eine solche nicht zuvor schon existirt, so hat TH. LIPPS diese Schwierigkeit dadurch zu heben gesucht, dass er auf die variabeln Verbindungen hinwies, in welche die Localzeichen mit einander treten müssten, je nachdem verschiedene Hautstellen gleichzeitig berührt werden. Dadurch werde, auch wenn man eine ursprüngliche Tendenz zur intensiven Verschmelzung aller gleichzeitigen Empfindungen voraussetze, doch eine Trennung gerade jener in der Verbindung wechselnden Elemente eintreten können[2]. Die vierte Hypothese verlegt endlich den Ursprung aller Raumvorstellungen in die eigene Bewegung und in die an diese gebundenen intensiv abgestuften Empfindungen, die durch ihre Verbindung mit der jede Bewegung begleitenden Zeitvorstellung den Raum erzeugen sollen[3]. Indem nämlich die Bewegung je nach ihrer Schnelligkeit die nämlichen Intensitätsabstufungen in verschiedener Zeit zurücklegen kann, soll sich die Vorstellung des Raumumfangs der Bewegung von derjenigen ihrer Zeitdauer trennen; und indem wir successiv eine Reihe von Gegenständen bei verschiedener Geschwindigkeit betasten, werde die Ordnung der Eindrücke als unabhängig von ihrer zeitlichen Succession aufgefasst.

Die oben entwickelte Theorie[4] kann, insoweit sie sich auf die vom Gesichtssinn unabhängige Entwicklung räumlicher Tastvorstellungen bezieht, in einem gewissen Sinn als eine Verbindung der beiden zuletzt erwähnten psychophysischen Hypothesen angesehen werden. Sie nimmt einerseits »Localzeichen« an, insofern sie jedem Hautpunkt eine bestimmte locale Färbung zuschreibt. Sie sieht aber den eigentlichen Ursprung der Raumvorstellungen in der Verschmelzung dieser qualitativen Localzeichen mit den intensiv abgestuften Spannungsempfindungen, zwei Factoren, deren keiner an sich schon die Raumbeziehung enthält, die jedoch eben durch ihre Verschmelzung oder »psychische Synthese« diese erzeugen. Wenn hiergegen bemerkt wurde, diese Synthese sei ein Ausdruck, der den Vorgang selbst nicht begrifflich erkläre, so ist dieser Einwand deshalb nicht zutreffend, weil er der Theorie eine Absicht zuschreibt, die bei ihrer Aufstellung nicht bestanden hat, und die in Wahrheit bei keiner Theorie berechtigter Weise bestehen kann. Wir können niemals eine geistige Schöpfung, ähnlich etwa wie eine mechanische Bewegung, aus ihren elementaren Bedingungen mit mathematischer Evidenz voraussagen. Bei den höheren geistigen Erzeugnissen ist dies uns Allen geläufig; dass bei den gewöhnlichsten Vorstellungsbildungen schon das nämliche Verhältniss geistiger Causalität stattfindet, ist aber eine noch immer vielfach übersehene Thatsache. Der Hinweis auf die chemische »Synthese« will dies nur durch ein analoges naturwissenschaftliches Beispiel veranschaulichen: Niemand kann die Eigenschaften des Wassers aus denen des Wasserstoffs und des Sauerstoffs vorher-

---

[1] LOTZE, Med. Psychologie, S. 409.

[2] TH. LIPPS, Grundthatsachen des Seelenlebens. 1883, S. 472 ff. und besonders S. 496 ff.

[3] A. BAIN, The senses and the intellect². 1864, p. 197 ff. Mit der Theorie BAINS stimmt eine ältere deutsche Arbeit von STEINBUCH in den wesentlichsten Punkten überein. (STEINBUCH, Beitrag zur Physiologie der Sinne. 1811.)

[4] Die Grundzüge derselben sind zuerst in der 1858 erschienenen ersten Abhandlung meiner »Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung« (S. 48—65) auseinandergesetzt.

sehen, obgleich Niemand bezweifelt, dass sich jenes aus diesen zusammensetzt. Sachlich ist allerdings diese Analogie deshalb keine ganz zutreffende, weil die chemische Dynamik wahrscheinlich noch dazu führen wird, die Eigenschaften einer Verbindung aus denen ihrer Bestandtheile wirklich abzuleiten. Bei der psychischen Verschmelzung dagegen wird, wie ich meine, gemäß dem allgemeinen Charakter psychologischer Gesetze immer nur dieses möglich sein, dass man die Eigenschaften der Componenten gewissermaßen in der Resultante wiedererkennt: niemals geht aber diese so vollständig und ohne Rest aus den ersteren hervor, dass man etwa dem, der die Vorstellung des Tastraumes nicht selbst erlebt hätte, diese beibringen könnte, wenn man ihm unabhängig von einander Tastempfindungen mit ihren Localzeichen und Spannungsempfindungen mitzutheilen vermöchte. In dieser Beziehung gilt von den verwickeltsten psychischen Processen das nämliche was von den einfachsten, den Empfindungen, gilt: sie müssen erlebt werden, um Wirklichkeit zu besitzen. Darum kann aber auch hier der Theorie nur die doppelte Aufgabe zufallen: 1) diejenigen Elemente aufzuzeigen, welche thatsächlich unsere räumlichen Tastvorstellungen beeinflussen, und 2) die Beziehungen nachzuweisen, in denen die Eigenschaften jener Elemente zu den Eigenschaften des resultirenden Productes stehen. In beiderlei Hinsicht genügt die Annahme einfacher, unmittelbar mit den Hautempfindungen verbundener Localzeichen nicht den Anforderungen: sie erklärt weder den Einfluss der Bewegungen auf die Raumunterscheidung, noch gibt sie über die von der Richtung unabhängige Gleichartigkeit des räumlichen Maßsystems Rechenschaft. Die Annahme complexer, aus localen Empfindungsunterschieden und Spannungs- oder Bewegungsempfindungen bestehender Localzeichen dagegen befriedigt jene Forderungen. Denn die Spannungsempfindungen, die dem Einfluss der Bewegung als Grundlage dienen, bieten zugleich in zureichender Weise die Eigenschaft einer gleichartigen, bloß intensiv abgestuften Mannigfaltigkeit, um in ihnen jene qualitative Congruenz der Dimensionen vorgebildet zu finden, die eine wesentliche Eigenschaft unserer Raumanschauung ist.

Vierzehntes Capitel.

Räumliche Gesichtsvorstellungen.

1. Netzhautbild des ruhenden Auges.

a. Sehschärfe im directen und indirecten Sehen.

Die Lage des Netzhautbildes wird, ebenso wie die Größe desselben, durch Linien bestimmt, die man sich von allen Punkten des Objectes durch einen für jeden Accommodationszustand fest bestimmten optischen Cardinalpunkt des Auges, den Knotenpunkt, nach der Netzhaut

gezogen denkt (S. 516, Fig. 245, *k*)[1]. Diese Linien sind die Richtungsstrahlen. Der Punkt, wo ein Richtungsstrahl die Netzhaut trifft, ist der dem Objectpunkt entsprechende Bildpunkt. Denken wir uns nun einen einzelnen leuchtenden Punkt im äußeren Raume wandern, so muss sich auch der ihm zugehörige Bildpunkt auf der Netzhaut, und zwar im entgegengesetzten Sinne, bewegen. Hierbei kann die Empfindung nicht vollkommen ungeändert bleiben, da die Qualität eines jeden Lichteindrucks, wenn man von der Mitte der Netzhaut auf die Seitentheile übergeht, sich stetig verändert, wobei die Empfindlichkeit für Farbenunterschiede geringer, diejenige für Helligkeiten aber größer wird (S. 181). Diesen Veränderungen geht nun, als eine dritte, die in der Schärfe der räumlichen Unterscheidung parallel. Man bezeichnet die letztere kurz als die Sehschärfe. Sie lässt sich, anolog wie die räumliche Unterscheidung beim Tastsinn, durch die Raumschwelle messen, die man bei der Betrachtung zweier Punkte oder feiner Linien als kleinste Distanz findet, in welcher diese unterschieden werden. Prüft man auf solche Weise mittelst des früher (Fig. 194, S. 183) beschriebenen Perimeters die verschiedenen Netzhauttheile, indem man an Stelle der kleinen Lampe *h* ein aus zwei in ihrer Distanz variirbaren Linien bestehendes Sehobject anwendet, so zeigt die so bestimmte Raumschwelle oder Sehschärfe je nach der Entfernung vom Netzhautcentrum sehr große Unterschiede. Sie ist am feinsten in der Mitte der Netzhaut, am gelben Fleck, und nimmt auf den Seitentheilen sehr rasch ab. Eben darum bezeichnet man die Objecte, die sich auf dem gelben Fleck abbilden, als die direct gesehenen und stellt ihnen alle andern, deren Bilder auf die Seitentheile fallen, als die indirect gesehenen gegenüber. Denjenigen direct gesehenen Punkt, dessen Bild genau in der Mitte der Centralgrube liegt, nennt man den Fixations- oder Blickpunkt. Der dem Fixationspunkt entsprechende Richtungsstrahl wird die Gesichtslinie genannt, die durch denselben Punkt und den Drehpunkt des Auges gezogene Linie die Blicklinie. Beide Linien fallen so nahe zusammen, dass sie als identisch betrachtet werden können. Objecte direct zu sehen steht bei normalem Auge in der Macht des Willens, da man dieselben zu diesem Zweck nur zu fixiren, d. h. die Gesichts- oder

[1] Streng genommen existiren zwei Knotenpunkte, von denen bei der Einstellung des Auges auf unendliche Entfernung der erste durchschnittlich 0,7580, der zweite 0,3602 mm vor der Hinterfläche der Krystalllinse gelegen ist. Da aber hiernach die beiden Knotenpunkte einander sehr nahe liegen, so kann man denselben, für die meisten Zwecke mit ausreichender Genauigkeit, einen einzigen substituiren, der auch als Kreuzungspunkt der Richtungsstrahlen bezeichnet wird, und den man nach LISTING 0,4764 mm vor der Hinterfläche der Linse annimmt. Legt man zwei Knotenpunkte zu Grunde, so müssen jedem Richtungsstrahl zwei Linien substituirt werden, von denen die erste den Objectpunkt mit dem ersten Knotenpunkt verbindet, und die zweite parallel der ersten vom zweiten Knotenpunkt zur Netzhaut geführt wird.

Blicklinie auf sie einzustellen braucht; alle Willkürlichkeit unserer Augenbewegungen besteht aber darin, dass wir den Fixationspunkt des Auges im Raume bestimmen. Schwieriger ist es, die indirect gesehenen Objecte zu beobachten, weil wir gewohnt sind, die Gegenstände, auf welche sich unsere Aufmerksamkeit richtet, zugleich zu fixiren. Beim indirecten Sehen muss man jedoch diese natürliche Verbindung von Aufmerksamkeit und Fixation der Objecte zu lösen suchen, indem man ein Object fixirt, während man gleichzeitig einem andern, das im Bereich des indirecten Sehens liegt, seine Aufmerksamkeit zuwendet. Vergleicht man nun auf diese Weise zwei Objecte von gleicher Beschaffenheit, z. B. zwei kleine weiße Kreise auf schwarzem oder zwei schwarze auf weißem Grunde, so bemerkt man, dass sich der indirect gesehene vom direct gesehenen Punkt ähnlich unterscheidet, wie das Bild im nicht accommodirten und im accommodirten Auge. Der indirect gesehene Punkt erscheint unbestimmter begrenzt. Größere Objecte können daher in Bezug auf ihre Form, Größe und Begrenzung im indirecten Sehen nur undeutlich aufgefasst werden. Eine genauere Vergleichung der Sehschärfe im directen und indirecten Sehen gewinnt man mittelst der oben angegebenen Perimetermethode, wobei man am zweckmäßigsten zwei dunkle Linien oder Punkte vor einem weißen Hintergrunde in so großer Distanz anbringt, dass sie an der untersuchten Stelle deutlich unterschieden werden können, und dann diese Distanz so lange stetig vermindert, bis die Linien oder Punkte eben zusammenfließen. Hierbei müssen aber diese zugleich immer größer genommen werden, auf je weiter seitlich gelegene Theile der Netzhaut man ihr Bild fallen lässt, damit sie noch wahrnehmbar seien. Will man bloß die Sehschärfe im directen Sehen bestimmen, wie das für alle die Zwecke zureicht, wo es sich nur um die allgemeine Ermittelung der Sehtüchtigkeit eines Auges handelt, so verzichtet man auf die Benutzung des Perimeters, und statt der Distanz der Sehobjecte verändert man die Entfernung des Sehenden von den Objecten. Man spannt also z. B. zwei parallele Cocon- oder Spinnfäden in wenigen Millimeter Abstand vor einem weißen Hintergrunde aus, und misst die Entfernung, in die das Auge gebracht werden muss, damit die Fäden in einen zusammenfließen. Denkt man sich dann die oben erwähnten Richtungsstrahlen gezogen, so lässt sich daraus ohne weiteres der bei der Raumschwelle vorhandene Gesichtswinkel und die diesem äquivalente Größe des Netzhautbildes berechnen. Für ein normales Auge entspricht die so ermittelte Raumschwelle des directen Sehens in der Regel einem Gesichtswinkel von 90—60 Secunden oder einer Bildgröße von 0,006—0,004 mm. Aehnliche Werthe finden sich, wenn man, ein bei der Prüfung der Bildschärfe optischer Instrumente angewandtes Verfahren benutzend, die Grenze bestimmt, wo die Linien eines

feinen Drahtgitters zusammenfließen. Ebenso liefern bei den Methoden, deren sich die Ophthalmologen zur Bestimmung der Sehschärfe bedienen (den sogenannten Leseproben nach SNELLEN oder JAEGER), einfache Linienzusammensetzungen von verschiedener Größe (z. B. Haken von den Formen ⊏ oder E), Werthe, die zwar nicht direct mit den eigentlichen Raumschwellen, aber doch unter einander wohl vergleichbar und für directes wie indirectes Sehen verwendbar sind[1]. Hierbei ergeben sich nun viel größere Raumschwellen im indirecten als im directen Sehen. Auch nehmen dieselben rasch zu mit der Entfernung von der Netzhautmitte. So fand AUBERT folgende Werthe:

Abstand von der Netzhautmitte	Raumschwellen in Gesichtswinkeln
2° 40′	3′ 27″
3° 30′	6′ 53″
5°	17′ 11″
7°	34′ 22″
8° 30′	1° 9′

Bei weiterer seitlicher Verschiebung ist eine genauere Messung nicht mehr ausführbar. Doch lässt sich annähernd die Sehschärfe bei einem Abstand von 15° etwa auf $^1/_{10}$, bei 30—40° auf $^1/_{100}$ der im directen Sehen beobachteten schätzen. Uebrigens erfolgt auch hier, ähnlich wie bei der Farbenempfindlichkeit (S. 179), diese Abnahme nach den verschiedenen Meridianen, die man sich durch die Netzhautmitte gelegt denken kann, mit etwas verschiedener Geschwindigkeit, und es pflegen in dieser Beziehung sogar die beiden Augen eines und desselben Beobachters von einander abzuweichen: allgemein ist aber der horizontale Netzhautmeridian gegenüber dem verticalen, und in jenem wieder die temporale gegenüber der nasalen Seite bevorzugt[2].

Wie die nach der WEBER'schen Cirkelmethode gewonnenen Raumschwellen des Tastsinns, so sind nun auch diese principiell mit ihnen übereinstimmenden der Sehschärfe keineswegs feste Werthe, sondern sie besitzen, abgesehen von den Schwankungen, die sie in Folge pathologischer Zustände des Sehorgans und der gewöhnlichen Abnahme der Sehschärfe im höheren Alter darbieten, gleich allen solchen Schwellen-

[1] Als Maß der Sehschärfe pflegt man in diesem Fall nach SNELLEN einen Gesichtswinkel von 5′ als willkürliche Einheit und als Maß der Sehschärfe V den Quotienten $V = \frac{d}{D}$ anzunehmen, wo D den Abstand bedeutet, in welchem der Durchmesser des Zeichens einem Gesichtswinkel von 5′ entspricht, und d diejenige Distanz, in welcher dasselbe Zeichen noch eben erkannt werden kann. Vgl. LANDOLT, in GRAEFE und SÄMISCHS Handbuch der Augenheilkunde, Bd. 3, S. 1 ff.

[2] AUBERT, Physiologie der Netzhaut, S. 235 ff.

begriffen, in gewissem Grad eine conventionelle Bedeutung. Dies zeigt sich schon darin, dass, wie bereits VOLKMANN fand, nicht bloß die Uebung namentlich im indirecten Sehen die gefundenen Werthe sehr verringern kann, sondern dass auch mit der Feinheit der Linien die Raumschwellen beträchtlich abnehmen. Er fand so, dass im directen Sehen die eben noch unterscheidbare Distanz im Netzhautbilde günstigsten Falls bis auf 0,0007 mm herabgehen konnte[1]. Da nun im indirecten Sehen die Versuche überhaupt nur mit dickeren Linien ausgeführt werden können, so erhellt hieraus zugleich, dass die in beiden Fällen gefundenen Raumschwellen eigentlich nicht unmittelbar mit einander vergleichbar sind. Ebenso sind diese Raumschwellen auf keine Weise als Werthe zu betrachten, die die Grenze für die Wahrnehmung beliebiger räumlicher Unterschiede, z. B. auch die der Form und Richtung der Conturen, bestimmen. Vielmehr können einerseits zur Unterscheidung der Formen räumlicher Objecte, z. B. einer fünf- und einer sechseckigen kleinen Fläche, Größendifferenzen erforderlich sein, die die oben definirten Raumschwellen namentlich im indirecten Sehen bedeutend überschreiten; und es können anderseits Richtungsänderungen oder Lageverschiebungen der Theile einer Linie noch bei Raumwerthen erkannt werden, die weit unter der nach dem eben wahrnehmbaren Zwischenraum definirten Raumschwelle bleiben. So fand WÜLFING, als er die zwei Hälften einer feinen geraden Linie mittelst eines Mikrometers gegen einander verschob, dass solche Verschiebungen noch bei einem Gesichtswinkel von 12—10″ erkannt wurden; und zu denselben Grenzwerthen führten Bestimmungen, die PULFRICH sowie HERING mittelst der Erkennung kleiner Richtungsunterschiede der Netzhautbilder beider Augen im Stereoskop ausführten (vgl. unten 5, e)[2]. Offenbar handelt es sich hier um ähnliche Verhältnisse, wie sie uns bereits beim Tastsinn begegnet sind, wo ebenfalls innerhalb der durch den Cirkelversuch bestimmten Raumschwelle noch Richtungen und Richtungsänderungen deutlich aufgefasst werden können. Die Raumschwelle, als Grenze der Distanz zweier unterscheidbarer Punkte, ist eben, auch wenn sie das gleichförmigste und darum jedem andern vorzuziehende Maß der Sehschärfe abgibt, darum doch keineswegs auch ein Maß für alle möglichen Verhältnisse der räumlichen Auffassung, auf die neben der Sehschärfe noch andere, die gesammte räumliche Wahrnehmung bestimmende Bedingungen von Einfluss sein können.

Handelt es sich demnach in diesen Fällen nicht sowohl um Abweichungen der Raumschwelle, als um Verhältnisse der Raumwahrnehmung,

[1] VOLKMANN, Optische Untersuchungen, I, S. 65.
[2] WÜLFING, Zeitschrift für Biologie. N. F. Bd. 11, 1893, S. 199. HERING, Sitzungsber. der sächs. Ges. der Wiss. Math.-phys. Cl. 1899, S. 16.

die außerhalb dieses Begriffs liegen, so bietet dagegen auch hier der Zustand der Dunkeladaptation sehr bedeutende Verschiebungen in den Werthen der Raumschwelle selbst, namentlich wenn man wiederum die Verhältnisse des directen und indirecten Sehens in Betracht zieht. Die im Tageslicht von der Mitte nach den Seitentheilen der Netzhaut hin sehr rasch abfallende Sehschärfe gleicht sich nämlich bei vollständiger Dunkeladaptation aus, so dass nun die Netzhautmitte nicht nur ihr Uebergewicht über die Seitentheile verliert, sondern sogar unter die Leistung der unmittelbaren Nachbarzone der Centralgrube herabzusinken scheint. Die Fig. 242 veranschaulicht diese Verhältnisse. Die Linie *n n* repräsentirt den durch das Centrum *c* gelegten horizontalen Netzhautmeridian, auf welchem in Winkelgraden die Entfernungen von der Netzhautmitte angegeben sind; *a b* entspricht der Ausdehnung der Macula lutea, die auf der Nasalseite zwischen 10 und 20° liegende Lücke dem blinden Fleck, dessen Erscheinungen unten näher erörtert werden sollen. Die ausgezogene Linie stellt den Gang der Sehschärfe bei Helladaptation, die unterbrochene den bei Dunkeladaptation dar. So lange ein Eindruck in den einem Winkel von etwa 5° entsprechenden Bezirk *a b* fällt, wird er bei Helladaptation noch scharf erkannt. Bei Dunkeladaptation verläuft die ganze Curve nahezu der Abscissenlinie parallel. So fand z. B. A. E. FICK für sein eigenes Auge folgende Werthe der relativen Sehschärfe:

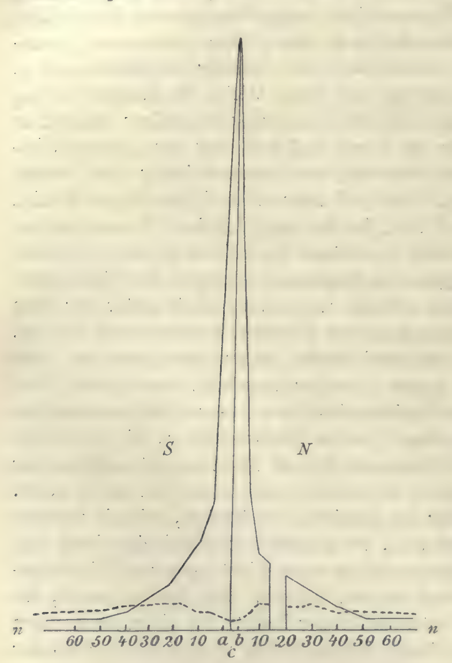


Fig. 242. Abstufung der Sehschärfe im horizontalen Netzhautmeridian bei Hell- und Dunkeladaptation, nach A. E. FICK. *S* Schläfenseite. *N* Nasenseite.

Entfernung vom Netzhautcentrum (temporal)	0°	5°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
Helladaptation	2,38	0,50	0,36	0,19	0,11	0,07	0,05	0,04	0,03
Dunkeladaptation	0,04	0,07	0,08	0,07	0,08	0,05	0,03	0,03	0,03

Daraus ergibt sich, dass im Zustand der Dunkeladaptation die Sehschärfe auf der ganzen Netzhaut ungefähr auf die Größe herabsinkt, die sie bei Helladaptation jenseits einer Grenze von 40° besitzt. In Zwischenzuständen der Adaptation ist dann wohl auch das Verhalten, analog wie bei der Farbenempfindung, ein mittleres. Hierin tritt, zusammen mit den früher schon hervorgehobenen Eigenschaften der genauesten Farbenunterscheidung und der geringsten Ermüdbarkeit der große Vorzug der normalen Tageshelle für die Functionen des Sehens deutlich hervor[1].

Da der Durchmesser der in der Centralgrube der Netzhaut liegenden Zapfen nach den Messungen von H. MÜLLER, M. SCHULTZE und W. KRAUSE 0,0015—0,0030 mm beträgt, so scheint nach den obigen Bestimmungen die Sehschärfe im directen Sehen in der Regel etwa dem Durchmesser von zwei Zapfen zu entsprechen, in günstigsten Fällen aber bis auf den eines Zapfens oder selbst darunter zu sinken. In Uebereinstimmung hiermit fand CLAUDE DU BOIS-REYMOND, dass sich gleichmäßig auf einer Fläche vertheilte Lichtpunkte zu leuchtenden Linien vereinigten, wenn ihre auf die Flächeneinheit kommende Anzahl etwa der halben der auf die entsprechende Flächeneinheit des Netzhautbildes kommenden Zapfen gleich war, und dass die Punkte in einen nach allen Richtungen diffusen Eindruck verschmolzen, wenn jene Anzahl die der Zapfen erreichte[2].

---

[1] A. E. FICK, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 45, 1898, S. 336 ff. FICK benutzte zur Bestimmung der Sehschärfe Haken von der Form E und berechnete die relativen Maße der Sehschärfe nach der oben angegebenen SNELLEN'schen Methode.

[2] CLAUDE DU BOIS-REYMOND, Ueber die Zahl der Empfindungskreise in der Netzhaut. Dissert. Berlin. 1881. Freilich sind die Grundlagen dieser Berechnung nicht unbestritten. Sie bestehen in den mikroskopischen Zählungen F. SALZERS (Wiener Sitzungsber. 3, Bd. 81, S. 7), der auf 0,001 qmm der Fovea centr. 132—138 Zapfen fand. W. KRAUSE hält aber die von SALZER angewandte Methode für unzuverlässig, und er schätzt seinerseits die Anzahl doppelt so groß. (W. KRAUSE, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 26, 2, S. 102.) Das Verhältniss der sämmtlichen Opticusfasern zur Gesammtzahl der Zapfen schätzt SALZER auf 1 : 7,67, womit auch KRAUSE annähernd übereinstimmt. Hinsichtlich der absoluten Anzahl der Fasern und der Zapfen differiren aber beide Beobachter sehr bedeutend, da SALZER die ersteren auf etwa 1/2 Million, die letzteren auf 3—3,6 Mill., KRAUSE jene auf 1 Mill., diese auf 7 Mill. schätzt. Physiologische Folgerungen lassen sich auf diese Zahlenverhältnisse nicht gründen. Zum Theil beruht der Ueberschuss der Fasern jedenfalls darauf, dass, wie schon M. SCHULTZE beobachtete, aus einem Zapfen immer mehrere Fasern hervorkommen; außerdem sind aber auch die Stäbchen Ausgangspunkte von Opticusfasern, wenngleich sie, wie die relativ viel geringere Anzahl von Fasern, die sich in die Seitentheile der Netzhaut begeben, schließen lässt, weit nervenärmer sind, so dass sich vielleicht mehrere Fasern auf ein Stäbchen vertheilen. Endlich ist nicht zu übersehen, dass durch die neueren Nachweise über das Vorkommen centrifugal leitender Fasern im Sehnerven eine einfache Beziehung zwischen den sogenannten Seheinheiten der Netzhaut und den Nervenfasern, wie sie wohl früher vermuthet wurde, nicht existiren kann.

Aehnliche Verhältnisse fand TH. WERTHEIM für die Gebiete jenseits der Centralgrube[1].

Schon nach diesen Ergebnissen lässt sich kaum annehmen, dass die Sehschärfe im directen wie indirecten Sehen durch den Durchmesser und die Dichtigkeit der Zapfen und Stäbchen unveränderlich bestimmt werde. Allerdings scheint es, dass in der Netzhautmitte, wo die Zapfen unmittelbar an einander stoßen, der Durchmesser derselben die Grenze, die unter günstigen Bedingungen erreicht werden kann, annähernd bezeichnet. Auch das Sinken der Sehschärfe auf den Seitentheilen der Netzhaut ließe sich wohl im allgemeinen auf die Abnahme der Sehzellen und die Zunahme des zwischen ihnen liegenden interstitiellen Gewebes zurückzuführen. Jedoch eine feste, unveränderliche Beziehung zwischen Sehschärfe und Dichtigkeit der Netzhautelemente in dem Sinne, dass Raumunterscheidung und Reizung verschiedener Sehelemente immer an einander gebunden wären, ist nicht aufrecht zu erhalten. Abgesehen davon, dass unter günstigen Umständen die Raumschwelle im directen Sehen unter den Betrag eines Zapfendurchmessers herabgehen kann, und dass die Wahrnehmungen von Richtungsänderungen und Linienverschiebungen dies sogar regelmäßig thun, sind die im indirecten Sehen gefundenen Raumschwellen so groß, dass namentlich in den äußersten Regionen der Netzhaut die Eindrücke zweier distincter Punkte in der Regel unsichtbar sein müssten und nur gelegentlich und zufällig einmal im Sehfelde aufleuchten könnten, wenn die hier auf mehrere Winkelgrade herabgesetzte Sehschärfe der Distanz empfindender Punkte entsprechen sollte, Eindrücke, die zwischen diese Punkte fallen, also überhaupt nicht empfunden würden. Vollends unmöglich ist es aber, die starke und nahezu gleichförmige Vergrößerung der Raumschwelle bei der Dunkeladaptation mit einer solchen Vorstellungsweise zu vereinigen. Ebenso dürfte die von A. E. FICK aufgestellte Hypothese einer bloß für die Helladaptation maßgebenden »Zapfensehschärfe« und einer nur bei der Dunkeladaptation hervortretenden »Stäbchensehschärfe« weder mit den Begriffen der Raumschwelle und Sehschärfe überhaupt noch mit dem sonstigen Einfluss der räumlichen Vertheilung der Sehelemente in eine verständliche Beziehung zu bringen sein. Denn diese Unterscheidung wäre doch nur dann berechtigt, wenn bei Dunkeladaptation die Zapfen und bei Helladaptation die Stäbchen überhaupt unempfindlich wären. Dann müsste aber erstens die ganze Centralgrube im Dunkeln blind sein, was weder für die qualitative Seite der Lichtempfindungen (S. 181) noch, wie FICKs eigene Versuche lehren, für die Raumschwelle zutrifft; und es müsste zweitens

[1] WERTHEIM, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 33, 2, S. 137 ff.

umgekehrt die periphere Netzhaut von der Region an, wo die Sehschärfe bei Hell- und Dunkeladaptation keine Unterschiede mehr zeigt, bei Helladaptation blind sein. So viel sich beobachten lässt, sind aber irgend merkliche Unterschiede der Ausdehnung des Sehfeldes in beiden Fällen überhaupt nicht vorhanden. Alle diese Erwägungen führen zu dem Ergebniss, dass die Dichtigkeit der Netzhautelemente zwar ein wichtiger Factor der Sehschärfe, dass er aber auf keinen Fall der einzige ist. Trifft dies zu, so muss nun offenhar die Hypothese der festen, mit bestimmten anatomischen Verhältnissen zusammenfallenden »Empfindungskreise« für die Netzhaut so gut wie für die äußere Haut verlassen werden; und es kann auch hier dieser Factor der Dichtigkeit nur als ein indirecter, durch seinen Einfluss auf die Sensibilitätsverhältnisse der Sehfläche, nicht durch die objective räumliche Ordnung der Elemente an sich maßgebender angesehen werden. Demgemäß werden wir voraussetzen dürfen, dass mit der Vertheilung der Sehelemente Abstufungen der Empfindung zusammenhängen, die bei der für das normale Sehen günstigsten Helladaptation mit der Dichtigkeit der Elemente gleichen Schritt halten, während sie durch alle Einflüsse, die irgendwie die Lichtempfindlichkeit beeinträchtigen, Veränderungen erfahren, bei denen andere Momente überwiegen. Insbesondere gilt dies von dem Zustand der Dunkeladaptation, in welchem der Einfluss der Dichtigkeit der Elemente offenbar durch die Verminderung ihrer Empfindlichkeit compensirt wird, eine Veränderung, die, wie dies ja bereits die Verhältnisse der Farbenempfindung gelehrt haben, hauptsächlich das Netzhautcentrum trifft.

b. Der blinde Fleck und die Metamorphopsien.

Mit dem Einfluss, welchen die Sehelemente der Netzhaut, die Stäbchen und Zapfen, auf die räumliche Unterscheidung der Lichteindrücke besitzen, hängen die Erscheinungen, die sich bei der Nachweisung des blinden Flecks beobachten lassen, nahe zusammen. Dieser, der nach seinem Entdecker auch der MARIOTTE'sche Fleck genannt wird, entspricht nach Lage und Größe genau der Eintrittsstelle des Sehnerven, an der die Stäbchen und Zapfen sowie alle andern nervösen Elemente mit Ausnahme der Opticusfasern vollständig fehlen. Er hat einen Durchmesser von 6° oder 1,5 mm, und seine Mitte liegt etwa 15° oder 4 mm gerade nach innen vom Centrum der Macula lutea[1]. Wegen der umgekehrten Lage des Netzhautbildes werden daher Objecte, die in der entsprechenden Entfernung nach außen vom Fixationspunkte liegen, nicht wahrgenommen, sobald sie in den Bereich des blinden Flecks fallen. Fixirt

[1] Genauere Maßangaben siehe bei HELMHOLTZ, Physiolog. Optik, S. 212, [2] S. 253, und AUBERT, Physiologie der Netzhaut, S. 258.

man z. B., während das rechte Auge geschlossen ist, mit dem linken das obere Kreuzchen in Fig. 243 und hält das Buch in etwa 1 Fuß Entfernung, so verschwindet der größere Kreis vollständig. Sobald man aber nur um weniges das Auge näher oder ferner bringt, oder mit der Fixation auf das untere Kreuzchen übergeht, so taucht derselbe wieder auf.

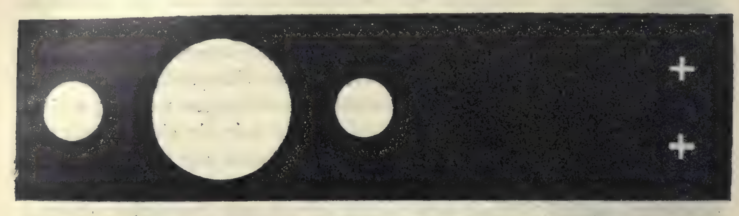


Fig. 243. Object für die Wahrnehmung des blinden Flecks.

Davon, dass dies Verschwinden nicht von der Undeutlichkeit der Bilder im indirecten Sehen herrührt, überzeugt man sich am zwingendsten, wenn man, wie in Fig. 243, rechts und links von dem größeren zwei kleinere Kreise anbringt, die, da sie außerhalb der blinden Stelle liegen, vollkommen deutlich gesehen werden, während der größere Kreis verschwindet. E. H. WEBER und verschiedene andere Beobachter fanden, dass, wenn man eine regelmäßige Figur, z. B. eine Kreislinie, in der an einer Stelle eine Lücke geblieben ist, im indirecten Sehen betrachtet, man zuweilen die vollständige Kreislinie zu sehen glaubt, sobald die Lücke in den blinden Fleck fällt[1]. Bei geschärfter Aufmerksamkeit verschwinden jedoch diese Erscheinungen, und man bemerkt deutlich, dass die Conturen einer Zeichnung, die nur theilweise in den blinden Fleck reicht, an der Stelle des letzteren unterbrochen erscheinen. Dagegen wird die blinde Stelle im allgemeinen mit dem gleichmäßigen Hintergrund ausgefüllt, auf dem sich die Zeichnung befindet. Ebenso verschwinden auf derselben die Typen einer Druckschrift, um die scheinbar leere Papierfläche zurückzulassen. Ist der Hintergrund farbig, so erscheint nach dem Verschwinden der Objecte auch die blinde Stelle in der Farbe des Hintergrundes. Doch ist in diesem Fall die Lichtbeschaffenheit etwas unbestimmter als bei farbloser Beleuchtung. Ferner bemerkt man in Fig. 243 deutlich, dass die scheinbare Distanz der kleineren Kreise völlig unverändert bleibt, ob der große Kreis auf den blinden Fleck fällt oder nicht. Man überzeugt sich hiervon leicht, wenn man den Fixirpunkt zwischen dem oberen und dem unteren Kreuzchen hin- und herbewegt. Indem wir also die blinde

[1] E. H. WEBER, Sitzungsber. der sächs. Ges. der Wiss. 1853, S. 149. VOLKMANN, ebend. S. 27. VON WITTICH, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 9, 3, 1863, S. 9.

Stelle mit der dem vorherrschenden Lichteindruck des ganzen Sehfeldes entsprechenden Empfindung ausfüllen, besitzt diese Stelle zugleich für unser Sehen denselben räumlichen Werth wie irgend eine andere, sehende Stelle der Netzhaut[1].

Genau die gleichen Erscheinungen werden beobachtet, wenn in Folge pathologischer Processe blinde Stellen von größerem Umfang (die sogenannten negativen Skotome der Ophthalmologen, so genannt zur Unterscheidung von den durch undurchsichtige Ausscheidungen vor der Netzhaut bestehenden positiven Skotomen) in andern Stellen des Sehfeldes auftreten. Es können dann, falls diese blinden Stellen der Region des directen Sehens näher rücken, die Erscheinungen noch viel deutlicher beobachtet werden. Ich selbst bemerke so an einem genau der Macula lutea meines rechten Auges entsprechenden blinden Fleck von 4—5° im Durchmesser sehr deutlich die Ausfüllung mit dem gleichförmigen Licht der Umgebung, während dagegen bei dem Hereinreichen irgend welcher näher differenzirter Bilder, Theilen geometrischer Figuren, Druckschriften u. dergl., das Bild an der Grenze der blinden Stelle scharf abbricht. Auch hier erscheint die räumliche Distanz eines diesseits und jenseits gelegenen Eindrucks vollkommen unverändert gegenüber einer parallelen Strecke, die außerhalb der blinden Stelle fällt.

Diesen Beobachtungen, die man an dem natürlichen oder an irgend einem erworbenen blinden Fleck der Netzhaut machen kann, entspricht nun sichtlich die weitere Thatsache, dass im indirecten Sehen, trotz der beträchtlichen Verminderung, die hier die Sehschärfe erfährt, eine Veränderung der Auffassung räumlicher Strecken nicht eintritt. Eine gerade Linie erscheint indirect gesehen genau ebenso lang, als wenn sie fixirt wird, wie man sich am besten an parallelen Linien überzeugen kann, deren eine durch den Fixirpunkt gelegt ist. Ebenso bemerkt man bei den oben beschriebenen Versuchen über die Raumschwelle im directen und indirecten Sehen, dass im Moment, wo die zwei Linien oder Punkte unterschieden werden, ihre Distanz überall nach dem gleichen Maßstabe geschätzt wird. Auf einer stark seitlich gelegenen Stelle erscheint also

[1] In Bezug auf das Verschwinden einzelner Theile von Objecten, die auf den blinden Fleck fallen, kann ich mich hiernach den ähnlichen Angaben von AUBERT (Physiologie der Netzhaut, S. 257) und von HELMHOLTZ (Physiolog. Optik, S. 575) anschließen. Wenn jedoch AUBERT bemerkt, dass er mit der blinden Stelle überhaupt nichts sehe, und HELMHOLTZ dieselbe mit derjenigen Lücke des Sehfeldes vergleicht, die sich hinter unserm Rücken befindet (a. a. O. S. 577), so scheint mir dies keine zutreffende Beschreibung der Thatsachen zu sein. Man sieht die blinde Stelle anders, wenn man wie oben einen weißen Kreis auf schwarzem Grunde, als wenn man umgekehrt einen schwarzen Kreis auf weißem Grunde wählt: dort erscheint sie schwarz, hier weiß. Dass eine solche Ausfüllung nur auf einem centralen Vorgang beruhen kann, ist übrigens selbstverständlich; auch weisen auf diesen die früher (S. 259 Anm. 1) erwähnten Contrasterscheinungen hin, die ich an meinem erworbenen blinden Fleck beobachtete.

die Distanz der zwei Eindrücke, sobald sie die Schwelle erreicht haben, sofort als eine sehr beträchtliche. Dies sind Thatsachen, die uns genau in derselben Weise schon beim Tastsinn begegnet sind (S. 442). Sie beweisen, dass Schärfe der räumlichen Unterscheidung und extensive Vorstellung auch beim Gesichtssinn wesentlich von einander verschiedene Functionen sind.

Mit dieser Folgerung scheinen nun auf den ersten Blick solche Erscheinungen des Sehens im Widerspruch zu stehen, die in Folge pathologischer Dislocationen einzelner Netzhauttheile, wie sie namentlich bei exsudativen Processen vorkommen, beobachtet werden. Diese Erscheinungen sind von den Ophthalmologen als Metamorphopsien bezeichnet worden[1]. Sie entsprechen durchaus der Regel, dass jeder Objectpunkt durch die veränderte Netzhautstelle so localisist wird, wie es der früheren, normalen Lage ihrer dislocirten Elemente entsprechen würde. Gerade Linien können gekrümmt oder geknickt, oder Objecte vergrößert oder verkleinert gesehen werden, ersteres wenn die Stäbchen und Zapfen dichter an einander gedrängt, letzteres wenn sie aus einander gezerrt werden. Bei der Beurtheilung dieser Erscheinungen ist jedoch nicht zu übersehen, dass es sich bei ihnen im allgemeinen nicht um stabile Zustände handelt, wie bei einem blinden Fleck, mag es der natürliche oder ein erworbener sein, oder wie bei den Distanzverhältnissen der Sehelemente in den verschiedenen Regionen der Retina, sondern um veränderliche, entweder von Tag zu Tag oder mindestens von Woche zu Woche sich vollziehende Lageverschiebungen. Der reguläre Ausgang dieser Krankheitsprocesse kann nun ein doppelter sein: entweder verschwinden die Exsudate vollständig wieder und damit natürlich auch die Dislocationen und Metamorphopsien; oder die betroffene Stelle erblindet: es entsteht ein erworbener blinder Fleck mit den oben geschilderten Erscheinungen, wo nun also ebenfalls, da solche Sehlücken die Auffassung räumlicher Distanzen nicht beeinflussen, die Bildverzerrungen verschwinden. In seltenen Fällen kann aber doch noch ein anderer Ausgang vorkommen; es kann sich nämlich nach Ablauf der Erkrankung ein stabiler Zustand wiederherstellen, bei dem gleichwohl eine völlige Rückkehr der dislocirten Retinaelemente zu ihren Ausgangsorten wegen der sonstigen begleitenden Umstände unwahrscheinlich ist. Was tritt dann ein? Die Beobachtung scheint zu zeigen, dass sich in solchen Fällen nach Eintritt des stabilen Zustandes, obgleich aller Wahrscheinlichkeit nach die Dislocation der Sehelemente nicht völlig gehoben ist, doch

[1] Vgl. LEBER, in GRAEFE und SÄMISCH, Handbuch der Augenheilkunde, Bd. 5, II, S. 612, und die dort S. 619 angeführte Litteratur.

die normale räumliche Orientirung der Theile eines Bildes wiederherstellen kann. Ich habe diesen Fall an mir selber erlebt, als Folge einer durch Jahre sich hinziehenden disseminirten Aderhautentzündung des rechten Auges, welche überaus starke Bildverzerrungen im Centrum des Sehfeldes und in dessen Umgebung herbeigeführt hatte. Die Fig. 244 zeigt das Bild eines schachbrettartigen, regelmäßig quadratischen Musters, wie es sich dem kranken Auge darstellte, und zwar in *A* in einem Stadium, in welchem bereits Erblindung der Centralgrube, mit Ausnahme der centralsten Stelle,

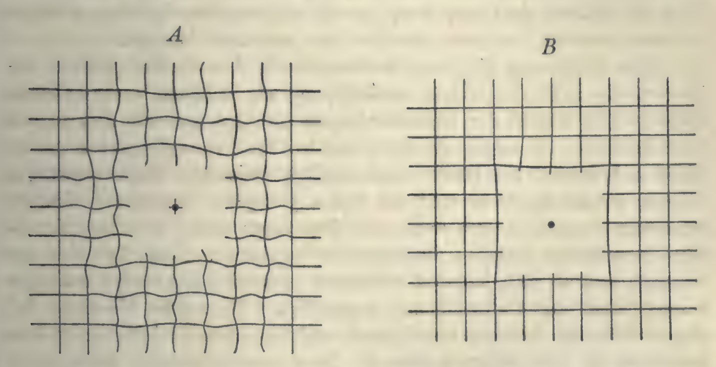


Fig. 244. Retinale Metamorphopsien in verschiedenen Stadien des Rückgangs.

eingetreten, die Verzerrung in der Umgebung in Rückgang begriffen und der entzündliche Process selbst abgelaufen war, die Fig. 244 *B* in dem stabilen Zustand, wie er jetzt noch besteht und sich nicht mehr weiter verändert hat, abgesehen davon, dass nun auch der hier immer noch lichtempfindliche Punkt im Centrum erblindet ist[1]. Nun sind an sich natürlich zwei Deutungen dieses Befundes möglich: es können entweder die dislocirten Netzhautelemente mit mathematischer Genauigkeit in ihre ursprünglichen Lagen zurückgekehrt sein; oder sie können sich, nachdem der Zustand stabil geworden, im Laufe der Zeit den neuen Verhältnissen angepasst haben. Weder die eine noch die andere dieser Deutungen lässt sich beweisen. Die erste scheint mir aber, im Hinblick auf den Umfang der ursprünglichen Verzerrungen und auf die starke Gewebscontraction, die bei der Entstehung des die ganze Centralgrube ausfüllenden Narbengewebes voraussichtlich eingetreten ist, unwahrscheinlich. Gibt man dies zu, so ist hieraus zu schließen, dass die Beziehung der

[1] Vgl. die nähere Beschreibung des Verlaufs dieser Erscheinungen Philos. Stud. Bd. 14, 1898, S. 7 ff.

Netzhautpunkte zu äußeren Punkten im Raum nicht auf ursprünglichen und absolut unveränderlichen Eigenschaften beruht, die den Netzhautpunkten an und für sich zukommen, sondern dass sie, wie das übrigens schon die Unabhängigkeit der extensiven Vorstellungsgröße von der Anordnung der Elemente in der normalen Retina wahrscheinlich macht, aus der Zuordnung der Sehelemente zu den übrigen functionellen Bestandtheilen des Sehprocesses entspringt. Diese regelmäßige Zuordnung setzt selbstverständlich eine gewisse Stabilität der Lage voraus. Aber sie schließt nicht aus, dass, wo die ursprüngliche Zuordnung aufgehoben worden ist, im Laufe der Zeit eine neue sich herstellt.

Diese Folgerung wird nun durchaus durch den Verlauf gewisser anderer analoger Erscheinungen bestätigt, die wir in einem weiteren Sinne ebenfalls dem Begriff der Metamorphopsie zuzählen und von den soeben beschriebenen retinalen als dioptrische Metamorphopsien unterscheiden können. So lassen sich nämlich diejenigen Bildverzerrungen nennen, welche durch die vor der Retina gelegenen brechenden Medien verursacht werden, mögen nun diese dem Auge selbst oder irgend welchen künstlichen optischen Hülfsmitteln angehören. Hier sind aber die letzteren, weil sie sich jederzeit willkürlich einführen und wieder entfernen lassen, leicht der Untersuchung zugänglich. Da solche Versuche bei einiger Vorsicht durchaus ungefährlich sind, so kann sie jedermann ohne Bedenken an sich selbst ausführen. Man lasse sich eine prismatische Brille anfertigen, deren brechender Winkel zweckmäßig, um störende Farbenwirkungen zu vermeiden, 5—6° nicht überschreitet. Durch eine solche Brille erscheinen geradlinige Conturen gebogen, ebene Flächen gewölbt, und complicirtere Bilder dem entsprechend verzerrt. Entschließt man sich aber eine solche Brille dauernd zu tragen, so verschwinden die Verzerrungen schon nach wenigen Tagen: man sieht jetzt die Gegenstände ebenso gerade wie mit bloßem Auge oder mit einer nicht prismatischen Brille. Da nun das Bild auf der Netzhaut in diesem Fall immer dasselbe bleibt, so kann diese Aufhebung der Metamorphopsie nicht wohl auf etwas anderes als auf eine Anpassung der Netzhautelemente an die neuen Bedingungen des Sehens zurückgeführt werden. Uebrigens sind Beobachtungen wie die hier geschilderten den Augenärzten geläufig: sie werden namentlich bei der Behandlung Schielender mittelst prismatischer Gläser beobachtet[1].

---

[1] Ein ophthalmologischer College, Herr Prof. Dr. O. SCHWARZ, hat, wie er mir mittheilte, in einem Falle, wo eine prismatische Brille wegen sogenannter »dynamischer Convergenz« längere Zeit beständig getragen und dann plötzlich wieder abgelegt wurde, diese Beobachtung noch durch eine andere sehr interessante ergänzt. Die zuerst gesehenen Verzerrungen verschwanden auch hier nach längerem Tragen der Brille. Als jedoch die

c. Visirlinien und Umfang des Sehfeldes. Accommodation und Irradiation.

Außer durch seine Bewegung auf der Netzhautfläche kann das Bild im ruhenden Auge Veränderungen erfahren, indem vor dem gesehenen Object ein zweites auftaucht, durch welches das erste verdeckt wird. Sind beide Objecte punktförmig, so kann nun aber vermöge der dioptrischen Eigenschaften des Auges immer nur eines von ihnen auch auf der Netzhaut annähernd punktförmig sich abbilden. Der andere Punkt erscheint daher von einem Zerstreuungskreis umgeben, dessen Größe mit der Differenz der Entfernungen der beiden Punkte vom Sehenden zunimmt. Einen Punkt, auf dessen Entfernung das Auge durch den Accommodationsapparat seiner Krystalllinse eingestellt ist, bezeichnen wir als einen deutlich gesehenen, jeden andern in merklich verschiedener Distanz befindlichen als einen undeutlich gesehenen[1]. Liegen die beiden Punkte, der deutlich und der undeutlich gesehene, in einer und derselben Richtungslinie, so umgibt demnach, wenn das Auge sich auf den einen Punkt accommodirt, der Zerstreuungskreis des andern von allen Seiten das deutlich gesehene Bild des ersten. Nun wird der in das Auge fallende Lichtkegel durch die als Blendung wirkende Iris begrenzt: der Zerstreuungskreis hat daher die Form der Pupille, und die Mitte desselben, welche bei accommodirtem Auge den Bildpunkt abgibt, entspricht dem Mittelpunkt der Pupille. Darum müssen, sobald ein ferner Punkt so durch einen näheren verdeckt wird, dass jener nur noch im Zerstreuungskreise gesehen werden kann, beide Punkte in einer geraden Linie liegen, die den Bildpunkt auf der Netzhaut und den Mittelpunkt der Pupille schneidet. Dabei passt sich die Form der Pupille durch ihre bei zunehmender Erleuchtung reflectorisch eintretende Verengerung ebenso der Lichtstärke an, wie die Linse durch ihre Accommodation der Entfernung des gesehenen Punktes. Indem nun der Mittelpunkt der Pupille den Mittelpunkt aller Zerstreuungskreise bildet, wird jeder Punkt eines Objects in einer Richtung gesehen, die durch jene seinen Bildpunkt mit dem Mittelpunkt der Pupille verbindende Gerade bestimmt ist. Diese Richtung wird daher eine Visirlinie genannt. Alle in einer Visirlinie gelegenen Punkte decken sich aber im Netzhautbilde mit den Mittelpunkten ihrer Zerstreuungskreise. Diejenige Visirlinie, die vom Netzhautcentrum ausgeht, nennt man die Hauptvisirlinie; sie fällt mit der Gesichtslinie, dem Hauptrichtungsstrahl, so nahe zusammen, dass dieser Unterschied für die meisten Zwecke

---

Brille abgelegt wurde, traten sie wieder ein, und zwar im entgegengesetzten Sinne wie vorher, bis nach einiger Zeit auch diese Verzerrungen wieder verschwanden.

[1] Ueber den Accommodationsmechanismus sind, da er von ausschließlich physiologischem Interesse ist, die Lehrbücher der Physiologie zu vergleichen.

vernachlässigt werden kann. Der Mittelpunkt der Pupille, in welchem sich alle Visirlinien schneiden, ist der Kreuzungspunkt der Visirlinien (Fig. 245). Derselbe ist von dem Knotenpunkt (k) oder Kreuzungspunkt der Richtungsstrahlen (S. 502, Anm. 1) verschieden. Denn während durch die Richtungsstrahlen die Lage und Größe des Bildes auf der Netzhaut, wird durch die Visirlinien die Richtung bestimmt, in der das Bild nach außen verlegt wird. Die Grenzpunkte eines Objectes $a\,b$, von dem ein Bild $\alpha\,\beta$ auf der Netzhaut entsteht, sehen wir also nicht bei a und b, sondern bei a' und b', gemäß der Richtung der Visirlinien. Für ferne Objecte fallen übrigens die Richtungsstrahlen und die Visirlinien so nahe zusammen, dass der Unterschied vernachlässigt werden kann. Der Winkel $a'\,v\,b'$, welchen die von den Grenzpunkten des Netzhautbildes gezogenen Visirlinien mit einander bilden, heißt der Gesichtswinkel. Er ist für uns im allgemeinen das Maß der Größe eines Gegenstandes. Denn Objecten, die unter gleichem Gesichtswinkel gesehen werden, entsprechen Netzhautbilder von gleicher Größe.

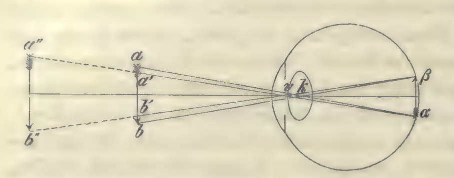


Fig. 245. Richtungsstrahlen und Visirlinien des Auges.

Die Fläche, in welche das ruhende Auge alle gleichzeitig sichtbaren Punkte in der Richtung der Visirlinien verlegt, nennen wir nun das Sehfeld des ruhenden Auges. In ihm wird der Abstand je zweier Punkte von einander durch den Gesichtswinkel bemessen, den die nach ihnen gezogenen Visirlinien mit einander bilden. Die Ausdehnung des Sehfeldes selbst nach irgend einer Richtung wird aber durch den Gesichtswinkel zwischen der Hauptvisirlinie und derjenigen Visirlinie gemessen, die zu dem äußersten in der betreffenden Richtung gelegenen noch lichtempfindlichen Punkt gezogen wird. Da die Tiefenentfernungen, in welche sich die einzelnen Visirlinien erstrecken, hierbei unbestimmt bleiben, so ist das Sehfeld an sich eine Fläche von unbestimmter Form, die nur nach den Seiten hin gewisse, in jeder Richtung theils durch die aufhörende Empfindlichkeit der Netzhaut, theils aber auch durch hervortretende Theile des Angesichts bestimmte Grenzen hat. Diese Grenzen sind, von der den gelben Fleck mit der Mitte der Pupille verbindenden Hauptvisirlinie an gerechnet, nach den Messungen von FOERSTER und LANDOLT:

nach außen	70—85°	130—135°	nach oben	45—55°	110—120°
nach innen	60—50°		naoh unten	65°	

Die Stelle des deutlichsten Sehens liegt demnach nicht vollständig in der Mitte des Sehfeldes, sondern nach innen und oben von derselben; dagegen nimmt der blinde Fleck ziemlich genau die Mitte ein. Beseitigt man durch Drehungen des Kopfes die Beschränkungen durch die Gesichtsknochen, so werden die Grenzen nach innen, oben und unten erheblich weiter. In diesem Fall fand LANDOLT:

nach außen 85° } 160° nach oben 73° } 151°[1]
nach innen 75° } nach unten 78° }

Da weder der optische Apparat des Auges ein vollkommen exactes Bild eines äußeren Gegenstandes selbst bei genauester Einstellung der Accommodation auf denselben entwirft, noch auch in der auffangenden Fläche der Netzhaut die Erregung auf die direct durch das einfallende Licht getroffenen Stellen beschränkt bleibt, so ist nun in Wirklichkeit die Grenze zwischen deutlich und undeutlich gesehenen Punkten eine einigermaßen fließende. Ein leuchtender Punkt erscheint uns auch bei vollkommenster Accommodation des Auges auf denselben, sobald seine Lichtintensität eine gewisse Höhe erreicht oder der Contrast gegen die Umgebung sich geltend macht, nicht als ein wirklicher Punkt, sondern er ist von einem schmalen lichten Hofe umgeben, aus dem an einzelnen Stellen, von Unregelmäßigkeiten in der Lichtbrechung in Linse und Hornhaut herrührend, einzelne strahlige Fortsätze hervorschießen können. Hierauf beruht die bekannte Strahlenfigur der Sterne, die in Folge der individuellen Unterschiede der dioptrischen Eigenschaften für jedes Auge eine abweichende ist und besonders in ihrer Ausdehnung außerordentlich variirt. Wie wir aber auf diese Weise einen einzelnen leuchtenden Punkt, auf den das Auge eingestellt ist, eigentlich als eine kleine leuchtende Fläche erblicken, die sich nur durch geringere Ausdehnung und schärfere Begrenzung von dem Bild eines undeutlich gesehenen Punktes unterscheidet, auf den das Auge nicht accommodirt ist, so greifen die sichtbaren Grenzen eines ausgedehnten leuchtenden Gegenstandes, um so mehr, je heller er leuchtet, über die nach den Richtungsstrahlen bemessenen Grenzen hinaus. Helle Flächen auf dunklem Grunde erscheinen daher größer, dunkle auf hellem Grunde meist kleiner, als sie wirklich sind. In ihrer Abhängigkeit von der Differenz der Lichtstärken lässt sich diese unter dem Namen der Irradiation bekannte Erscheinung deutlich verfolgen, wenn man auf einem und demselben schwarzen Hintergrund graue und weiße Streifen von gleicher Größe anbringt, die nach ihrer Helligkeit eine aufsteigende

[1] SNELLEN und LANDOLT, in GRAEFE und SÄMISCH, Handbuch der Augenheilkunde, Bd. 3, I, S. 58.

Reihe bilden: es nimmt dann mit der wachsenden Helligkeit auch die scheinbare Breite der Streifen zu. Eine bekannte Folge dieser Irradiationswirkung ist es, dass in hellen Handschuhen oder Schuhen die Hände und Füße größer aussehen als in dunkeln. Starke Lichteindrücke können ferner durch die Irradiationswirkung ihre Umgebung vollständig verdrängen. Ueberdeckt man z. B. mit der Kante eines dunkeln Lineals die obere Hälfte einer Lichtflamme, so scheint das Lineal da, wo es die Flamme begrenzt, einen Ausschnitt zu haben, der wieder an der hellsten Stelle der Flamme am tiefsten ist. Man kann annehmen, dass diese Erscheinungen, die neben den Verhältnissen der Accommodation in die Auffassung der Objecte und ihrer Begrenzungen wesentlich mit eingreifen, im allgemeinen auf drei Momente zurückzuführen sind, die einzeln in verschiedenem Maße betheiligt sein können: 1) auf die dioptrische Unvollkomheit des Auges (die »monochromatische Abweichung«, so genannt weil sie auch für einfarbige Strahlen von gleicher Brechbarkeit besteht), 2) auf Ungenauigkeiten der Accommodation, und endlich 3) auf einer Ausbreitung der retinalen Erregung selbst. In letzterer Beziehung hängen die Erscheinungen wohl mit dem früher (S. 215) besprochenen »Randcontrast« zusammen, dessen positive Complemente sie insofern sind, als sich bei der Irradiation die Erregung in Folge der ihr eigenen Bedingungen in ihrer ursprünglichen Qualität ausbreitet, während beim Randcontrast, bei dem die für die Irradiation entscheidenden Intensitätsunterschiede zurücktreten, Erregungen von entgegengesetzter Qualität in der Umgebung des inducirenden Objects ausgelöst werden[1]. Auf die Größenauffassung der irradiirenden Objecte ist dann überdies wahrscheinlich noch der Umstand von Einfluss, dass die Intensitätsunterschiede innerhalb der verschiedenen Zonen des das Object umgebenden Lichthofes in der Empfindung um so mehr verschwinden, je stärker der Lichteindruck ist, so dass dadurch der Lichthof unmittelbar als eine Vergrößerung des Objectes selbst aufgefasst wird[2].

Obgleich nun alle diese Eigenschaften des ruhenden Auges zweifellos wesentliche Elemente der räumlichen Gesichtsvorstellungen in sich

---

[1] Da die Irradiation unter günstigen Umständen wohl, ähnlich dem Randcontrast, auch über eine weitere Umgebung in schwächerem Grade sich ausbreiten kann, so sind es wahrscheinlich solche diffuse Irradiationswirkungen, die man zuweilen als »positive Induction« dem eigentlichen Contrast, als der »negativen«, gegenübergestellt hat. (Blix, Skandin. Archiv für Physiologie, Bd. 5, 1893, S. 13.) Auch diese Gegenüberstellung ist jedoch offenbar von einer allzu weit getriebenen Analogie mit den positiven und negativen Nachbildern beeinflusst. Abgesehen von der eigentlichen Irradiation sind jene diffuseren positiven Wirkungen Ausnahmeerscheinungen, die möglicher Weise auf einer bloßen Lichtzerstreuung durch die dioptrischen Medien des Auges beruhen.

[2] Plateau, Poggendorffs Annalen, Ergänzungsbd. 1, 1838, S. 79, 193, 405. Fechner, ebend. Bd. 50, 1840, S. 195. Helmholtz, Physiologische Optik[2], S. 394 ff.

schließen, so sind sie doch für sich allein genommen nicht genügend, diese zu vermitteln. Weder enthält die Lage des optischen Bildes auf der Netzhaut noch die Richtung der Visirlinien, die wir aus der Verbindung sich deckender Punkte im Sehfelde gewinnen, noch die Größe des Gesichtswinkels hierfür zureichende Motive. Denn das empfundene Netzhautbild, wenn wir damit die Summe von Lichtempfindungen bezeichnen dürfen, die aus der Erregung der einzelnen reizbaren Netzhautelemente entsteht, ist durchaus verschieden von demjenigen Bild des Gegenstandes, welches unsere Vorstellung in den äußeren Raum verlegt. Die letztere füllt die Lücken des empfundenen Bildes aus, und sie berichtigt großentheils die Ungenauigkeiten desselben in den peripheren Theilen. Ebenso ist der Gesichtswinkel nur ein Element der räumlichen Größenvorstellung neben andern. Gegenstände, die unter gleichem Gesichtswinkel gesehen werden, können uns daher je nach der Entfernung, in die wir sie verlegen, in sehr verschiedener Größe erscheinen. Weitere Factoren der räumlichen Wahrnehmung, die diesen Eigenschaften des Netzhautbildes zu Hülfe kommen, treten uns nun vor allem in den Bewegungen des Auges entgegen.

2. Bewegungen des Auges.

a. Anordnung und Drehungsmomente der Augenmuskeln.

Die Bewegungen des Auges sind im allgemeinen Drehungen desselben um einen in der Augenhöhle fest liegenden Punkt. Dislocationen des Augapfels, durch die Auspolsterung der Augenhöhle mit Fett, Bindegewebe und anderen schwer comprimirbaren Massen erschwert, können nur ausnahmsweise stattfinden, so dass sie bei den normalen Bewegungen außer Betracht bleiben. Der Drehpunkt des Auges liegt nach den Messungen von DONDERS 13,54 mm hinter dem Hornhautscheitel, demnach etwa 1,29 mm hinter der Mitte der vom Hornhautscheitel durch den Knotenpunkt gelegten optischen Augenachse[1]. Die Drehungen um diesen Punkt werden durch sechs Muskeln bewerkstelligt, von denen je zwei, die als Antagonisten wirken, ein Muskelpaar bilden. Die drei Muskelpaare, die man auf diese Weise unterscheidet, sind: der äußere und innere gerade Muskel (Rectus externus und internus), der obere und untere gerade (Rectus superior und inferior) und der obere und untere schräge (Obliquus superior und inferior). Das erste dieser Muskelpaare, gebildet durch den äußeren und inneren geraden (*re*, *rit* Fig. 246) liegt

---

[1] DONDERS, Anomalien der Refraction und Accomodation. 1866, S. 156 f. Vgl. auch WEISS, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 21, 2, S. 132.

nahezu in der durch den Drehpunkt des Auges gelegten Horizontalebene[1]. Beide Muskeln zeigen eine genaue Symmetrie der Lage und darum auch der Wirkung. Die Achse, um welche sie für sich allein das Auge drehen würden, steht im Drehpunkt auf der annähernd horizontalen Muskelebene senkrecht. Der äußere dreht um diese Achse den Augapfel nach außen, der innere nach innen; dabei behält der durch die Netzhaut gelegte horizontale Meridian, den wir, da er noch öfter zur Feststellung der Orientirung des Auges Verwendung findet, kurz den Netzhauthorizont nennen wollen, seine horizontale Richtung bei. Der obere und untere gerade Muskel (*rs*, *rif*, Fig. 247), die zusammen das zweite Muskelpaar

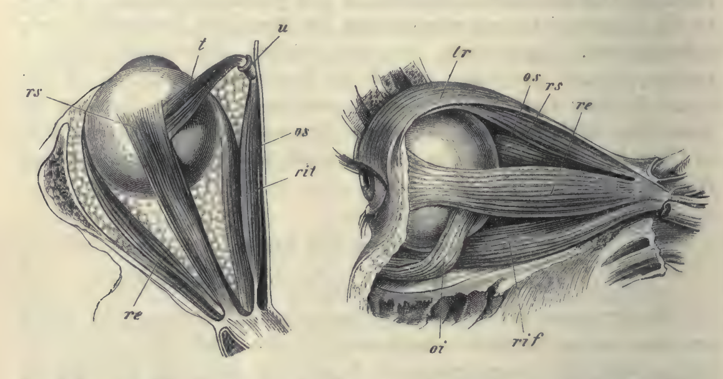


Fig. 246. Die Muskeln des linken menschlichen Auges, von oben gesehen. *rs* Rectus superior. *re* Rectus externus. *rit* Rectus internus. *os* Obliquus superior. *t* Sehne dieses Muskels. *u* Knorpelrolle an der innern Wand der Augenhöhle, um welche die Sehne des Obliquus sup. geschlungen ist.

Fig. 247. Die Muskeln des linken menschlichen Auges, von außen gesehen. *lr* Heber des oberen Augenlids (Levator palpebrae superioris), den Rectus superior bedeckend. *rs*, *re*, *os* wie in der vorigen Figur. *rif* Rectus inferior. *oi* Obliquus inferior.

bilden, liegen ebenfalls fast vollkommen in einer Ebene, also annähernd wieder symmetrisch; aber diese Ebene hat eine schräge Lage, indem der Ansatz der Muskeln am Augapfel weiter nach außen liegt als ihr Ursprung am Rande des Sehnervenlochs (*rs* Fig. 246). Ihre Drehungsachse fällt darum nicht mit der durch den Drehpunkt gelegten Horizontalen zusammen, sondern weicht von derselben um ungefähr 30° ab (Fig. 248).

---

[1] Die Ursprungspunkte beider Muskeln liegen übrigens bei vollkommen horizontaler Haltung des Kopfes ein wenig höher als die Ansatzpunkte, nach Volkmanns Messungen um 0,6 mm. Daraus folgt, dass die Muskelebene mit ihrem vordern Ende etwas unter die Horizontalebene geneigt ist.

Demnach behält auch der Netzhauthorizont *h h'*, während der obere Muskel das Auge nach oben, der untere nach unten dreht, seine Lage nicht bei, sondern er wird gleichzeitig gegen die Horizontalebene gedreht, so dass er sich mit seiner schläfenwärts gerichteten Hälfte im ersten Fall über den Horizont erhebt, im zweiten unter denselben sinkt. Eine solche Drehung, bei der die Gesichtslinie *g g'* als fest bleibende Achse erscheint, bezeichnet man als Rollung oder Raddrehung des Auges, und der Winkel, den dabei der Netzhauthorizont mit seiner ursprünglichen horizontalen Lage bildet, als den Rollungs- oder Raddrehungswinkel. Denken wir uns also den oberen oder unteren geraden Muskel allein wirksam, so würde mit der Hebung und Senkung des Augapfels, die sie bewirken, immer zugleich eine Rollung desselben verbunden sein. Am meisten weicht endlich die Lage der beiden schrägen Muskeln ab. Die Drehungsachse *os oi* derselben bildet nämlich ungefähr einen Winkel von 52° mit der durch den Drehpunkt gelegten Horizontalen *h h'*, liegt also von dieser weiter entfernt als von der Gesichtslinie *g g'*, mit der sie nur einen Winkel von etwa 38° einschließt. Beide Muskeln unterscheiden sich ferner dadurch, dass derjenige Ursprungspunkt des oberen schiefen Muskels, der für seine Wirkung allein in Betracht kommt, nämlich die Stelle, wo derselbe über seine Rolle gleitet (*u* Fig. 246), nach vorn vom Ansatzpunkt seiner Sehne am Augapfel liegt; ebenso entspringt der untere schiefe Muskel an einer nach vorn liegenden Stelle des Bodens der Augenhöhle (*oi* Fig. 247). Bei den schrägen Muskeln ist also das Verhältniss der Ursprungs- und Ansatzpunkte genau das umgekehrte wie bei den geraden. In Folge dessen verhalten sie sich auch in Bezug auf die Hebung und Senkung des Augapfels entgegengesetzt den entsprechend gelagerten geraden Muskeln: der Obliquus superior senkt das Auge, und der Obliquus inferior hebt dasselbe. Dabei dreht zugleich der erstere den Netzhauthorizont im selben Sinne wie der obere, der zweite im selben Sinne wie der untere Gerade. Demnach lässt sich das Verhältniss der Obliqui zu den beiden Geraden kurz so feststellen: der Obliquus

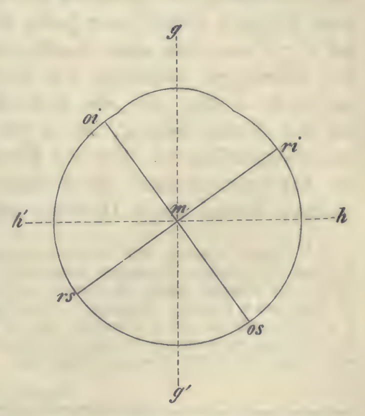


Fig. 248. Achsen der Muskeldrehung im Auge. (Linkes Auge.)

superior unterstützt den Rectus inferior bei der Hebung des Auges, aber er wirkt ihm entgegen in Bezug auf die Rollung des Auges um die Gesichtslinie; der Obliquus inferior unterstützt den Rectus superior bei der Hebung des Auges, aber er wirkt ihm bei der Rollung entgegen. Man übersieht diese Verhältnisse am einfachsten, wenn man die Drehungsachsen der Muskelpaare auf einen durch den Drehpunkt (*m* Fig. 248) gehenden Horizontalschnitt des Augapfels projicirt. Die Drehungsachse des äußern und innern geraden Muskels muss man sich als eine auf der Ebene des Papiers im Drehpunkt senkrecht stehende Linie denken. Von den beiden andern Drehungsachsen kann man annehmen, dass sie vollständig innerhalb der Horizontalebene liegen, da in Wirklichkeit ihre Abweichung von derselben nur wenige Winkelgrade beträgt[1]. Nennt man diejenige Hälfte einer jeden Drehungsachse, in Bezug auf welche bei der Contraction eines bestimmten Muskels die Drehung im Sinne des Uhrzeigers stattfindet, die Halbachse des betreffenden Muskels, so ist *m rs* (Fig. 248) die Halbachse für den Rectus superior, *m ri* für den Rectus inferior, *m os* für den Obliquus superior, *m oi* für den Obliquus inferior. Für den Rectus internus liegt die Halbachse über, für den externus unter der Papierebene. Die Lageänderung, die jeder einzelne Muskel durch Drehung um seine Halbachse zu stande bringt,

[1] Genauer ergeben sich die Lageverhältnisse der sechs Augenmuskeln aus der folgenden nach VOLKMANNS Messungen entworfenen Tabelle, in der die Ursprungs- und Ansatzpunkte der Muskeln durch ein System rechtwinkliger Coordinaten bestimmt sind, die sich im Drehpunkte kreuzen. (Sitzungsber. der sächs. Ges. der Wiss. 1869, S. 52.) Die x-Achse liegt horizontal, die z-Achse vertical, und die y-Achse fällt mit der Gesichtslinie zusammen: die Richtung der positiven x geht nach außen, der positiven y nach hinten, der positiven z nach oben; die Zahlen bedeuten Millimeter.

	Ursprünge			Ansätze		
Muskeln	x	y	z	x	y	z
Rectus superior	— 16	31,76	3,6	0,0	— 7,63	10,48
Rectus inferior	— 16	31,76	— 2,4	0,0	— 8,02	— 10,24
Rectus externus	— 13	34,0	0,6	10,08	— 6,50	0,0
Rectus internus	— 17	30,0	0,6	— 9,65	— 8,84	0,0
Obliquus superior	— 15,27	— 8,24	12,25	2,90	4,41	11,05
Obliquus inferior	— 11,10	— 11,34	— 15,46	8,71	7,18	0,0

Wir fügen diesen Zahlen die von VOLKMANN ermittelten Werthe der Länge und des Querschnitts der einzelnen Augenmuskeln hinzu, da dieselben für die Beurtheilung der Muskelleistungen von Bedeutung sind. Die direct gemessenen Längen sind in Millimetern, die durch Division des Volums mit der Länge berechneten Querschnitte in Quadratmillimetern angegeben (a. a. O. S. 57).

	Rectus sup.	Rectus inf.	Rectus ext.	Rectus int.	Obliquus sup.	Obliquus inf.
Länge	41,8	40,0	40,6	40,8	32,2	34,5
Querschnitt	11,34	15,85	16,73	17,39	8,36	7,89

lässt sich dann durch die Fig. 249 veranschaulichen. Man denke sich das linke Auge so vor die Ebene des Papiers gehalten, dass es den Mittelpunkt der Figur fixirt, und dass die Entfernung des Drehpunktes von demselben gleich der Länge der Linie *d d* ist, so werden durch die in jenem Mittelpunkte sich kreuzenden Linien die Bahnen dargestellt, in denen jeder einzelne Muskel, wenn er eine Drehung von 10 bis 50° bewirkt, die Gesichtslinie bewegen muss. Durch den am Ende jeder Bahn angebrachten dickeren Strich ist zugleich die in Folge der Drehung eingetretene Lage des Netzhauthorizontes angedeutet. Aus dieser Darstellung

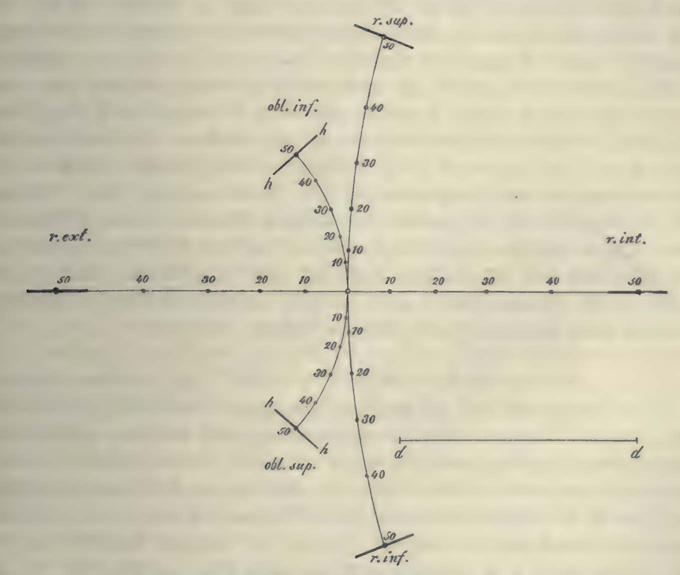


Fig. 249. Die Bahnen der Blicklinie des linken Auges und die Rollungen bei isolirter Wirkung der einzelnen Augenmuskeln, nach HERING.

geht unmittelbar hervor, dass, um von der Anfangsstellung aus das Auge gerade nach außen oder innen zu bewegen, die Wirkung eines einzelnen Muskels, des Rectus externus oder internus, genügt[1]. Anders ist dies

[1] Da in Folge der hierdurch hervorgebrachten Lageänderung des Augapfels auch die Ansatzpunkte der andern Muskeln Verschiebungen erfahren, beziehungsweise diese Muskeln sich verkürzen oder verlängern müssen, so werden allerdings bei den oben genannten Bewegungen außer dem Hauptmuskel immer auch noch andere contrahirt sein. Ueber hierauf bezügliche Erscheinungen der Netzhautorientirung vgl. SCHNELLER, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 21, 3, S. 133, über die dadurch verursachten Aenderungen der Drehungsmomente

bei den Bewegungen nach oben und unten. Kein einziger Muskel vermag, wie man sieht, den Augapfel geradlinig zu heben oder geradlinig zu senken. Dagegen kann dies durch die Combination der zwei entsprechend wirkenden Muskeln erreicht werden. Der Rectus superior und Obliquus inferior werden, da die Bogen, in denen sie die Gesichtslinie drehen, in entgegengesetztem Sinne verlaufen, bei geeigneter Compensation der Muskelkräfte eine geradlinige Bahn hervorbringen können; ebenso bei Senkung des Auges der Rectus inferior und Obliquus superior. Dabei werden sich zugleich die Drehungen des Netzhauthorizonts ganz oder theilweise compensiren, so dass das Auge in ähnlicher Weise wie bei den Bewegungen nach außen und innen seine ursprüngliche Orientirung behalten kann. Bewegt sich aber die Gesichtslinie in schräger Richtung, z. B. von der Anfangsstelle aus nach innen und oben, so kann man eine solche Drehung in jedem Momente aus einer Bewegung nach innen und aus einer solchen nach oben zusammengesetzt denken. Demnach werden hier nicht zwei sondern drei Muskeln betheiligt sein, nämlich der Rectus internus als Einwärtswender, der Rectus superior und Obliquus inferior als Heber des Augapfels. In ähnlicher Weise ist bei den Drehungen nach außen und oben der Rectus externus mit den zwei eben genannten Muskeln, bei den in schräger Richtung abwärts gehenden Bewegungen jedesmal der Rectus inferior und Obliquus superior mit dem betreffenden äußeren oder inneren geraden Muskel wirksam.

b. Die Primärstellung und das LISTING'sche Gesetz.

Die Frage, wie bei allen diesen Bewegungen des Auges die Kräfte der einzelnen Augenmuskeln zusammenwirken, lässt sich nun auf die einfachste Weise prüfen, indem man die jedesmalige Stellung des Netzhauthorizontes ermittelt. Findet man z. B., dass bei der Drehung nach oben und unten der Netzhauthorizont keine Drehung erfährt, so wird man daraus schließen dürfen, dass die geraden und schiefen Muskeln wirklich sich compensiren. Die unmittelbarste Methode aber, um sich über etwaige Richtungsänderungen des Netzhauthorizontes zu unterrichten, besteht darin, dass man durch längeres Fixiren einer horizontalen farbigen Linie ein complementäres Nachbild hervorbringt, das auf eine ebene Wand entworfen wird, und dessen Richtungsänderungen bei der Bewegung des Auges dann unmittelbar über die Richtungsänderungen des Netzhauthorizontes Aufschluss geben. Bei der Ausführung dieses Versuchs findet man, dass es eine bestimmte Ausgangsstellung gibt, von der an das ursprünglich

---

O. ZOTH, Sitzungsber. der Wiener Akad. (3), 1900, S. 509. Hier kann von diesen Abweichungen wegen ihres geringen Einflusses auf die Gesichtswahrnehmungen abgesehen werden.

horizontale Nachbild nicht nur bei der Bewegung nach innen und außen, sondern auch bei der Bewegung nach oben und unten horizontal bleibt. Die auf diese Weise ausgezeichnete Stellung, die man die Primärstellung nennt, entspricht bei den meisten Augen einer Lage der Gesichtslinie, bei welcher diese etwas unter die Horizontalebene geneigt ist. Dies hängt wahrscheinlich damit zusammen, dass auch die Ebene des äußeren und inneren geraden Augenmuskels nicht genau horizontal ist (S. 520 Anm. 1). Es scheint also der Netzhauthorizont und demnach das ganze Auge bei der Drehung nach innen und außen seine Orientirung dann beizubehalten, d. h. keine Rollung zu erfahren, wenn die Gesichtslinie annähernd in der Muskelebene des Rectus externus und internus sich bewegt. Dann geschehen aber in der That diese Drehungen auf die einfachste Weise, indem sie lediglich durch die Wirkung der beiden genannten Muskeln hervorgebracht werden können. Da nun auch bei der Bewegung nach oben und unten das Auge gleich orientirt bleibt, so müssen hierbei die Wirkungen des oberen und unteren geraden sowie der schiefen Muskeln in einem solchen Verhältnisse stehen, dass sich die entgegengesetzten Drehungen des Netzhauthorizontes, die durch je zwei zusammenwirkende Muskeln hervorgebracht werden, genau compensiren. Nun bewirken, eine gleich große Bewegung vorausgesetzt, die Obliqui eine viel stärkere Rollung als die zu ihnen gehörigen Recti (Fig. 249). Es muss daher, wenn jene Compensation stattfinden soll, bei einer gegebenen Hebung und Senkung der gerade Muskel mit größerer Kraft wirken als der ihm beigegebene schräge. Hiermit steht auch im Einklang, dass die Obliqui viel schwächere Muskeln sind als die Recti, so dass, wenn einem geraden und einem schrägen Muskel die gleiche Innervation zugeführt wird, dadurch wohl von selbst die richtige Compensation ihrer Wirkungen eintreten kann. Diese Erwägungen machen es wahrscheinlich, dass bei den Hebungen und Senkungen des Auges dasselbe Princip wie bei den Seitwärtswendungen in Anwendung kommt: dass nämlich jede Bewegung die möglichst einfache Innervation voraussetzt. Man könnte sich freilich fragen, warum, wenn dieses Princip bei der Anordnung der Augenmuskeln befolgt ist, nicht auch die Hebung und Senkung gleich der Seitwärtswendung bloß durch zwei symmetrisch gelagerte gerade Muskeln geschieht. Die größere Complication, die durch die Beigebung der Obliqui als Hülfsmuskeln herbeigeführt wird, steht aber sichtlich mit gewissen Erfordernissen des Sehens in nahem Zusammenhang. Während nämlich die Ansatzpunkte der Muskeln am Augapfel mit diesem beweglich sind, bleiben ihre Ursprungspunkte in der Augenhöhle fest, daher bei allen Drehungen des Auges die Achsen der Muskelwirkung immer nur verhältnissmäßig kleine Aenderungen erfahren. Demgemäß nähert

sich bei der Drehung nach innen die Horizontalachse des Auges *h h'* (Fig. 248) der Achse der Obliqui, während sich die Blicklinie *g g'* oder die Achse der Rollung von derselben entfernt; bei der Drehung nach außen dagegen entfernt sich *h h'* von der Achse der Obliqui, während sich *g g'* ihr nähert. Umgekehrt ist das Verhältniss zur Achse der Recti: *h h'* nähert sich *rs ri*, *gg'* entfernt sich davon bei der Drehung nach außen, indess bei der Drehung nach innen das umgekehrte eintritt. Dieser Gegensatz hat zunächst wieder die Bedeutung einer Compensationseinrichtung: sobald das Drehungsmoment der Recti zunimmt, vermindert sich das entsprechende der Obliqui und umgekehrt. Sodann aber ergibt sich in Folge der Lage der Achsen *rs ri* und *os oi* eine Begünstigung der Einwärtsbewegungen. Da nämlich das Rollungsmoment der Recti um die Achse *g g'* nie so bedeutend werden kann, dass dasselbe nicht immer noch leicht durch die Gegenwirkung der Obliqui compensirt würde, so wird bei den Stellungen der Blicklinie nach innen immer ein verhältnissmäßig größerer Theil der gesammten Drehungsmomente beider Muskelpaare auf die Drehung um die Achse *h h'* verwendet und ein verhältnissmäßig kleinerer zur antagonistischen Compensation der Rollungen um die Gesichtslinie verbraucht, d. h. die Bewegungen erfolgen in der Convergenzstellung mit relativ geringerer Muskelanstrengung. Außerdem fallen streng genommen die Halbachsen der beiden schiefen Muskeln nicht ganz in eine Gerade, sondern die Halbachse des oberen weicht etwa um 5—6° mehr von der Blicklinie ab als die des unteren, wogegen diese etwas unter die Horizontalebene geneigt ist (S. 525 u. 522 Anm. 1). Demzufolge entwickelt bei einwärts gekehrter Blicklinie der Obliquus superior ein relativ starkes Drehungsmoment um *hh'*, während der Obliquus inferior immer zugleich ein geringes Moment der Auswärtsdrehung um die verticale auf der Horizontalebene im Punkte *m* senkrechte Achse ausübt. Daraus folgt, dass in einer geneigten Lage der Blicklinie die Einwärtsdrehungen, in einer gehobenen die Auswärtsdrehungen der Blicklinie begünstigt werden. Wir werden unten sehen, dass diese aus der Anordnung der Augenmuskeln sich ergebenden mechanischen Bedingungen für die Functionen des Doppelauges von großer Bedeutung sind.

Wird nun von der Primärstellung aus das Auge nicht einfach gehoben oder gesenkt oder seitwärts gewendet, sondern in schräger Richtung bewegt, so kann man, um sich über die in der zweiten Stellung eintretende Orientirung des Auges zu unterrichten, ein Nachbild benützen, das zu der Bewegungsrichtung der Gesichtslinie in derselben Weise orientirt ist wie bei den vorigen Versuchen das horizontale oder verticale Nachbild, nämlich entweder die gleiche Richtung hat wie der Weg, den die Gesichtslinie

einschlägt, oder zu demselben senkrecht ist. Der Versuch zeigt hier dasselbe Resultat wie vorhin: auch bei der schrägen Bewegung behält das zum Merkzeichen dienende Nachbild seine Richtung bei; das Auge verändert also, wenn es sich von der Primärstellung aus dreht, seine ursprüngliche Orientirung nicht, in welcher Richtung die Drehung auch geschehen möge. Aus diesem Satze ergibt sich unmittelbar die mechanische Folgerung, dass alle Stellungen des Auges bei gegebenen Ablenkungen der Blicklinie aus ihrer Primärstellung gefunden werden können, wenn man sich die Ablenkungen der Blicklinie durch die Drehung um feste Achsen entstanden denkt, deren jede zu der Ebene, welche durch die Anfangs- und Endlage der Blicklinie bestimmt wird, im Drehpunkte senkrecht steht, und die sämmtlich in einer einzigen zur Primärstellung der Gesichtslinie im Drehpunkte senkrechten Ebene liegen. Dieses Princip der Drehungen wird nach seinem Entdecker als das LISTING'sche Gesetz bezeichnet[1].

Um dasselbe im allgemeinen zu bestätigen, verfährt man am besten in folgender Weise. Man befestigt einen großen Carton, der durch verticale und horizontale Linien in gleiche Quadrate eingetheilt ist, in solcher Weise an einer fernen Wand, dass er mit hinreichender Reibung um seinen Mittelpunkt drehbar ist, so dass er jede Lage, in die man ihn dreht, beibehält. Im Mittelpunkte bringt man ein rechtwinkliges Kreuz aus farbigem Papier an. Man stellt sich nun in möglichst großer Entfernung dem Carton gegenüber so auf, dass bei aufrechter Haltung des Kopfes die gerade nach vorn gerichteten und (der Primärstellung entsprechend) ein wenig nach unten geneigten Gesichtslinien den Mittelpunkt des farbigen Kreuzes fixiren. Ist dies lange genug geschehen, dass ein complementärfarbiges Nachbild entstehen konnte, so bewegt man zuerst das Auge gerade nach innen und außen, dann, wieder vom Fixationspunkte aus, nach oben und unten. In beiden Fällen decken sich die Schenkel des Nachbildes mit den verticalen und horizontalen Linien des Cartons. Um das Gesetz auch in Bezug auf schräge Bewegungen der Gesichtslinie zu

---

[1] LISTING selbst (RUETE, Lehrbuch der Ophthalmologie[2], 1854, S. 37) hat das Princip nur als eine Vermuthung hingestellt. Die Primärstellung wurde von MEISSNER gefunden (Beiträge zur Physiologie des Sehorganes. 1854), der allgemeine Nachweis des Princips aber erst von HELMHOLTZ gegeben (Archiv für Ophthalmologie, Bd. 9, 2, 1863, S. 153. Physiol. Optik, S. 457 f.). In dynamischer Hinsicht hat dasselbe nur eine annähernde Gültigkeit, da namentlich bei extremen Stellungen des Auges nicht unerhebliche Abweichungen davon stattfinden, überdies aber, wie ich beobachtet habe, die wirkliche Bewegung des Auges nicht um vollkommen feste Achsen erfolgt. Erzeugt man nämlich durch kurze Betrachtung eines leuchtenden Punktes in der Dunkelheit ein positives Nachbild, so bemerkt man, dass dieses im allgemeinen nur bei der Hebung und Senkung und bei der Seitwärtswendung annähernd gerade Linien im dunkeln Gesichtsfelde zurücklegt, bei allen schrägen Bewegungen aber, auch wenn diese von der Primärstellung ausgehen, gekrümmte Bahnen beschreibt. (WUNDT, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung. 1862, S. 140 ff.)

prüfen, dreht man zuerst den Carton, bis die verticalen oder horizontalen Linien in diejenige Richtung kommen, in welcher man die Gesichtslinie bewegen will. Es ist dann auch das Kreuz in der Mitte entsprechend gedreht worden: das Nachbild desselben behält nun, wenn sich die Gesichtslinie entlang den vorgezeichneten Linien bewegt, wiederum seine Richtung bei.

Dreht man bei diesem Versuch den Carton nicht, lässt man also das Nachbildobject aufrecht, und wandert jetzt die Gesichtslinie in schräger Richtung, so nehmen dagegen die beiden Schenkel des Nachbildes in den

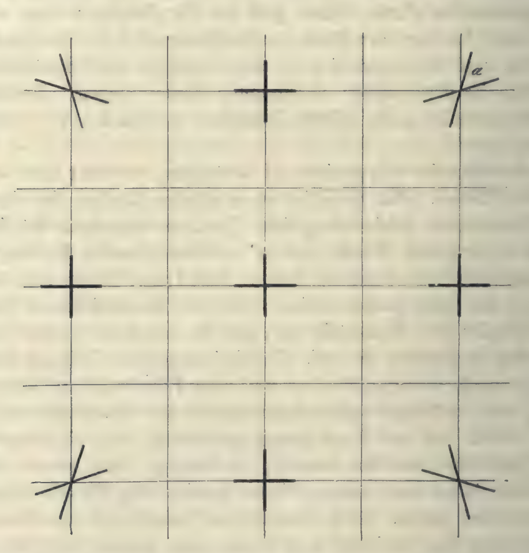


Fig. 250. Nachbildversuche zur Prüfung des LISTING'schen Gesetzes.

Schrägstellungen eine schiefe Lage an. Bei der Bewegung nach rechts oben z. B. nimmt es die Stellung *a* (Fig. 250) an; in den übrigen Bewegungsrichtungen zeigt es die andern in Fig. 250 dargestellten Abweichungen. Diese Verschiebungen rühren aber nicht von einer Rollung des Auges um die Achse *gg'* (Fig. 248) her, sondern von der perspectivischen Projection des Netzhautbildes auf die ebene Wand, wie schon der Umstand zeigt, dass der verticale und der horizontale Schenkel des Kreuzes im entgegengesetzten Sinne gedreht erscheinen. Wenn nämlich das Auge aus einer ersten in eine zweite Stellung übergeht, so kann ein Netzhautbild von

unveränderlicher Form nur dann wieder in derselben Weise nach außen verlegt werden, wenn die Ebene, auf die es projicirt wird, ihre Lage zum Auge beibehält. Wenn also die Gesichtslinie aus der geraden Stellung ab (Fig. 251), in welcher die Ebene der Wand AB senkrecht zu derselben ist, in eine schräge Stellung ac übergeht, so müsste das Nachbild wieder auf eine zur Gesichtslinie senkrechte Ebene $A'B'$ projicirt werden, wenn der verticale Schenkel $\alpha\beta$ des Kreuzes wieder vertical, der horizontale $\gamma\delta$ horizontal erscheinen sollte. Nun verlegen wir aber das Netzhautbild nicht auf die Ebene $A'\,B'$, sondern auf die unverändert gebliebene AB. Um die Form zu finden, die auf diese bezogen das nach außen verlegte Netzhautbild annimmt, müssen wir zu jedem einzelnen Punkt desselben eine Visirlinie ziehen: der Punkt, wo diese Linie die Wand $A\,B$ trifft, entspricht dem Punkt des auf die Ebene AB bezogenen Bildes. Auf diese Weise sind in Fig. 251 von a aus, wo der Mittelpunkt der Pupille des beobachtenden Auges gedacht ist, die vier den Grenzpunkten des Kreuzes entsprechenden Visirlinien $a\alpha'$, $a\beta'$, $a\gamma'$ und $a\delta'$ gezogen worden. Die Figur, welche dieselben begrenzen, ist das schiefwinklige Kreuz $\alpha'\,\beta'\,\gamma'\,\delta'$, welches ganz dem Kreuz a in Fig. 250 entspricht. Durch ähnliche Constructionen findet man die andern in Fig. 250 angegebenen Drehungen des Nachbildes. Nebenbei folgt übrigens aus diesen Beobachtungen zugleich, dass das Netzhautbild durchaus nicht immer räumliche Vorstellungen erzeugt, die mit seiner eigenen Form übereinstimmen. Auf unserer Netzhaut existirt in den beschriebenen Versuchen das Nachbild als ein rechtwinkliges Kreuz; trotzdem sehen wir es

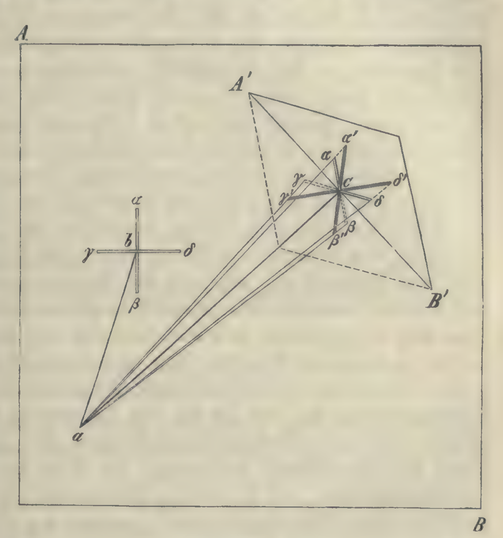


Fig. 251. Projective Drehungen eines Nachbildes bei der Bewegung des Auges.

keineswegs immer rechtwinklig, sondern seine Form ist ganz und gar von der Vorstellung abhängig, die wir uns von der Lage der Ebene, auf der das Bild entworfen wird, gebildet haben[1]. Auf diese Seite der Erscheinung werden wir unten zurückkommen.

Das LISTING'sche Gesetz hat, insofern es nicht sowohl für den Verlauf der Bewegungen, als für die Stellungen des Auges bei gegebenen Richtungen der Blicklinie gilt, den Charakter eines statischen Princips. Als solches hat es aber aller Wahrscheinlichkeit nach seinen Grund darin, dass die durch dieses Gesetz bestimmte Lage des Auges jedesmal diejenige ist, bei welcher die der Dislocation aus der Ruhestellung entgegenstehenden Hindernisse, wie sie aus den mannigfachen Gewebsverbindungen des Augapfels in der Augenhöhle entspringen, mit einem Minimum dauernder Muskelanstrengung überwunden werden. Sollte das Auge in dem ersten Moment nach dem Uebergang aus einer ersten in eine zweite Stellung der Blicklinie diese günstigste Lage nicht haben, so muss dieselbe doch sofort bei neu eintretender Fixation durch das Wechselverhältniss der am Auge wirksamen spannenden und hemmenden Kräfte von selbst sich einstellen. Eben deshalb ist das LISTING'sche Gesetz ein statisches, kein dynamisches Princip (siehe oben S. 527 Anm. 1); und man wird nach Maßgabe der allgemein im Organismus bestehenden Correlationen zwischen bewegten Massen und bewegenden Kräften annehmen dürfen, dass die Anordnung und Ausbildung des Augenmuskelsystems selbst schon ein Product der mechanischen Selbstregulirung dieses Systems sei[2]. Unter der Voraussetzung der Gültigkeit dieser Selbstregulirung und der aus ihr sich ergebenden Anordnung der Muskelachsen für die Gleichgewichtsstellungen des Auges in einer Ebene bleibt aber eine weitere Bedingung, die diese Anordnung mit sich führt, noch unbestimmt: das ist die Ruhestellung, in der die Energien der Muskeln nicht bloß ein relatives, sondern ein absolutes Minimum repräsentiren, und in die daher das Auge im allgemeinen zurückkehren wird, sobald keine speciellen Bewegungsreize auf dasselbe einwirken. Die Bedeutung einer solchen Ruhestellung hat nach dem LISTING'schen Gesetz die Primärstellung. Da nun die rein mechanischen Bedingungen zwar

---

[1] Dass es hierbei nicht auf die wirkliche Lage einer solchen Ebene ankommt, sondern auf diejenige, die wir derselben in unserer Vorstellung anweisen, folgt eigentlich schon daraus, dass wir überhaupt von ihrer wirklichen Lage nur durch unsere Vorstellung etwas wissen. Man kann sich hiervon aber auch experimentell überzeugen, wenn man auf der Projectionsebene eine perspectivische Zeichnung anbringt, durch die eine falsche Vorstellung ihrer Lage erweckt wird. Man projicirt dann gemäß dieser falschen Vorstellung. Einen hierher gehörigen Versuch siehe bei VOLKMANN, Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik. Bd. 1, 1863, S. 156.

[2] WUNDT, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 8, 2, 1862, S. 1 ff. (Erster Versuch einer Aufstellung des obigen Princips.)

fordern, dass es irgend eine Ruhestellung eines solchen Bewegungssystems gebe, ohne aber für irgend eine zu entscheiden, so wird von vornherein zu vermuthen sein, dass in diesem seinem die Primärstellung bestimmenden Theile das LISTING'sche Gesetz neben jener mechanischen zugleich insofern eine teleologische Bedeutung besitze, als diejenige Stellung des Auges vor andern zur Ruhestellung sich eignete und daher den Vorzug gewann, welche den bei den Sehfunctionen am häufigsten gebrauchten Richtungen der Blicklinie entspricht, und dass dann aus dieser Stellung die Lageänderungen in der Weise erfolgten, dass in allen so gewonnenen secundären Stellungen das Maß der Innervationsenergie zu einem Minimum wurde. Das so sich ergebende teleologische Correlatgesetz des LISTING'schen Satzes kann man als das Princip der einfachsten Innervation bezeichnen. Dass jener Vorzug des häufigsten Gebrauches für eine mäßig nach abwärts gekehrte Richtung der Blicklinie, wie sie der Primärstellung zukommt, besteht, ist im Hinblick auf das ungeheure Uebergewicht, das bei den Sehfunctionen nahe gelegene Objecte beanspruchen, ohne weiteres ersichtlich. Auch erklärt sich aus dem Einfluss, den hierbei Beschäftigung und Lebensgewohnheiten ausüben, am leichtesten die Thatsache, dass gerade diese Lage der Primärstellung der am wenigsten constante Bestandtheil des LISTING-schen Gesetzes ist.

c. Princip der constanten Orientirung und der Correspondenz von Fixation und Apperception.

Mit dem Gesetz der Orientirung des Auges nach festen, in einer Ebene gelegenen Achsen hängt das weitere Princip eng zusammen, dass die Orientirung für jede Stellung der Blicklinie eine constante ist, die wiederkehrt, auf welchen Wegen diese auch in ihre Stellung gelangt sein mag. Von der Richtigkeit dieses Princips der constanten Orientirung[1] kann man sich mittelst derselben Methode überzeugen, die zur Prüfung des LISTING'schen Gesetzes dient (S. 527). Das Nachbild des Kreuzes, das man in der Primär- oder in irgend einer andern Ausgangsstellung erzeugt hat, zeigt bei einer bestimmten Stellungsänderung der Blicklinie immer dasselbe Lageverhältniss zu den Orientirungslinien der Wand, auf welche Weise auch das Auge aus der ersten in die zweite Stellung gelangt sein mag. Kleine Abweichungen haben in der Synergie mit den Bewegungen des andern Auges, auf die wir unten (4) zurückkommen werden, ihren Grund. Da auf diese Weise das LISTING'sche

[1] Dasselbe wurde bereits vor Kenntniss des LISTING'schen Gesetzes von DONDERS gefunden. (Holländische Beiträge zu den anatomischen und physiologischen Wissenschaften, Bd. 1, 1847, S. 104, 384.)

Gesetz nur ein Specialfall dieses allgemeineren Gesetzes der constanten Orientirung ist, so erhellt übrigens hieraus zugleich, dass, sobald nach dem Uebergang des Auges aus einer ersten in eine zweite Stellung eine Rollung um die Gesichtslinie beobachtet wird, diese nicht auf der neuen Augenstellung als solcher, sondern lediglich auf ihrem Verhältniss zu der Ausgangsstellung beruht, auf die sie bezogen wird. Denn darin besteht eben die besondere Bedeutung der Primärstellung, dass auf sie bezogen für alle Stellungen der Blicklinie die im Vergleich mit andern Ausgangsstellungen vorhandenen Rollungen verschwinden.

Auch das Princip der constanten Orientirung hat übrigens offenbar eine mechanische und eine teleologische Seite. Mechanisch kann nach dem Princip der einfachsten Innervation mit jeder Stellung der Blicklinie nur eine Orientirung verbunden sein, nämlich diejenige, bei der die Innervationsgröße ein Minimum ist. Teleologisch aber ist für den Sehenden die regelmäßige Orientirung im Raum durchaus an die Bedingung geknüpft, dass das Bild auf der Netzhaut bei einer gegebenen Stellung des Auges immer gleich orientirt bleibe, dass also z. B. eine gerade Linie, die im einen Fall im Netzhautbild senkrecht steht, in einem andern bei der gleichen Augenstellung keine schräge Lage einnehme. Hier wird das Princip der constanten Orientirung offenbar in noch höherem Grade als das LISTING'sche Gesetz durch die Zwecke des Sehens gefordert. Unter den beiden Bedingungen, die in diesem Princip zusammentreffen, den mechanischen und den teleologischen, sind aber in der individuellen Ausbildung jedenfalls die mechanischen die ursprünglichen. Wie das Auge des Neugeborenen, schon bevor das Sehorgan seine Function beginnt, zur Erzeugung optischer Bilder zweckmäßig construirt ist, so besitzt es auch einen vollkommen ausgebildeten Bewegungsmechanismus. In der individuellen Lebensgeschichte hat sich daher das Sehen unter dem Einfluss der mechanischen Bewegungsgesetze des Auges entwickelt. In der generellen Entwicklung dagegen werden ebenso unzweifelhaft die Bedürfnisse des Sehens die Organisation, wie des Auges überhaupt, so auch seiner Bewegungswerkzeuge bestimmt haben.

Die Gesetze der einfachsten Innervation, der constanten Orientirung und der bevorzugten Primärstellung sind nun, wie in dem ersten derselben direct, in den beiden andern wenigstens indirect ausgesprochen liegt, beherrscht von centralen Bedingungen. Diese sind es, die der Blick- oder Gesichtslinie als derjenigen Linie, die den fixirten Punkt mit der Stelle des deutlichsten Sehens verbindet, bei allen Bewegungen des Auges die herrschende Rolle anweisen. Jede Augenbewegung ist zunächst eine Bewegung der Blicklinie. Als solche wird sie bei den willkürlichen Bewegungen gewollt; die übrige Orientirung des Auges folgt dann der

Stellung der Blicklinie mit mechanischer Nothwendigkeit. Aehnlich den willkürlichen verhalten sich aber in dieser Beziehung die unwillkürlichen Bewegungen des Auges, bei denen die Blicklinie reflexartig einem Eindruck folgt, der aus irgend einem Grunde eine dominirende Bedeutung im Sehfeld gewonnen hat. Von den meisten andern Reflexen unterscheiden sich diese wesentlich durch die Eigenthümlichkeit, dass bei ihnen jeder andere Punkt der Netzhaut mit dem Fixirpunkt in eine eindeutige Beziehung gesetzt ist, durch die, sofern nicht entgegengesetzte Kräfte hemmend im Wege stehen, ein Eindruck auf irgend einen jener Punkte die Einstellung der Blicklinie auf den Eindruck herbeiführt. Indem nun im allgemeinen fortwährend viele räumlich gesonderte Reize auf die Blicklinie richtunggebend einwirken, wird diese selbst fortwährend vieldeutig angeregt, und es sind daher für die endlich erfolgende wirkliche Einstellung weniger die Verhältnisse der peripheren Reizung als centrale Bedingungen, durch die irgend ein Reiz über die andern das Uebergewicht erlangt, entscheidend. Wir fassen diese centralen Bedingungen in dem psychologischen Begriff der Apperception zusammen, und wir können demnach das hier zur Geltung kommende Gesetz der Augenbewegungen dahin feststellen, dass nicht die Intensität und Qualität eines Reizes an sich, sondern seine Fähigkeit die Apperception zu erregen für die Einstellung der Blicklinie bestimmend ist[1]. Wir wollen dieses psychophysische Princip, welches die oben erörterten drei physiologischen Bewegungsgesetze ergänzt und ihre Anwendung im einzelnen regulirt, als das Gesetz der Correspondenz von Apperception und Fixation bezeichnen. Nach ihm stellen sich die Gesichtslinien des normalen Sehorgans von selbst, d. h. vermöge eines sicher wirkenden centralen Mechanismus, auf dasjenige Object ein, dem wir unsere Aufmerksamkeit zuwenden. Nur mittelst besonderer Einübung ist es daher möglich jene Correspondenz für Augenblicke zu lösen und die Aufmerksamkeit auf Dinge zu richten, die man nicht fixirt. Diese Schwierigkeit liegt aber wahrscheinlich nicht bloß darin, dass eine fest eingeübte Verbindung gelöst wird, sondern auch darin, dass sich die willkürliche Innervation hierbei ausschließlich auf die Stellung der Blicklinie richten muss, während normaler Weise mit der Richtung der Aufmerksamkeit auf ein Object vermöge der mechanischen Sicherheit der centralen Verbindungen die Blicklinie die zugehörige Stellung von selbst annimmt.

Zur Untersuchung und Veranschaulichung der oben erörterten Wirkungen der Augenmuskeln bedient man sich zweckmäßig eines Augenmuskelmodells,

---

[1] Ueber den Begriff der Apperception vgl. Bd. I, S. 320 ff., und weiterhin Abschn. V.

wie ein solches zuerst RUETE[1] unter dem Namen Ophthalmotrop construirt hat. Ein vervollkommnetes Instrument dieser Art ist das von mir beschriebene künstliche Augenmuskelsystem[2]. Dasselbe besteht aus einer Hohlkugel von 48 mm Durchmesser (etwa doppelt so groß als der des Auges), die hinten eine Oeffnung von 35° besitzt, und um ihren Mittelpunkt drehbar ist. Die Zugrichtungen der Muskeln sind durch Schnüre repräsentirt, die nach dem oben (S. 522 Anm. 1) angegebenen VOLKMANN'schen Coordinatensystem angeordnet und am Auge befestigt sind, während sie an den dem Muskelursprung (beim Obliquus sup. der Sehnenrolle) entsprechenden Punkten über Rollen laufen und auf der andern Seite durch Gewichte gespannt sind. Die elastischen Kräfte der Muskeln sind durch Spiralfedern dargestellt, deren Länge bei jedem Muskel proportional dem Quotienten des Querschnitts durch die Länge gewählt ist. Der Apparat kann zur Untersuchung der Stellungen wie der Bewegungen des Auges verwendet werden. Eine für Demonstrationszwecke geeignete, vom Mechaniker E. Zimmermann gebaute Vereinfachung desselben ist in Fig. 252 abgebildet. Die das linke Auge in 10-facher Vergrößerung darstellende Augenkugel ist eine metallene Hohlkugel, die in der Art einer CARDANI'schen Aufhängung um ihren Mittelpunkt drehbar ist. Die Zugrichtungen der Muskeln sind durch Schnüre von verschiedener Farbe möglichst den natürlichen Verhältnissen entsprechend wiedergegeben, und die Bewegungen und Drehungen des Auges können unmittelbar an einem die Blicklinie repräsentirenden Stäbchen und an den an der Augenkugel gezogenen beiden Hauptmeridianen beobachtet werden. Die in Fig. 249 abgebildeten Wirkungen der Augenmuskeln mit den entsprechenden Raddrehungen sowie die combinirten Wirkungen der zusammengehörigen Muskelpaare lassen sich an diesem Apparat unmittelbar zur Darstellung bringen[3].

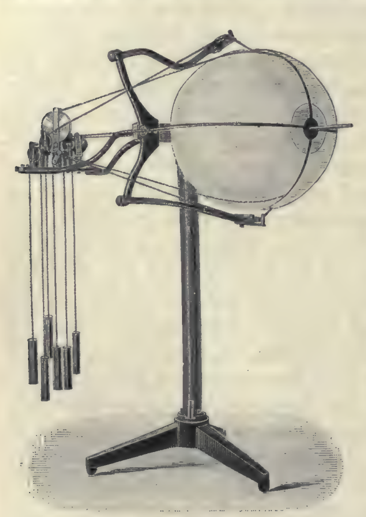


Fig. 252. Ophthalmotrop.

Wenn das Auge nicht von der Primärstellung, sondern von irgend einer andern, einer sogenannten Secundärstellung aus sich bewegt, so behält es im allgemeinen seine constante Orientirung nicht bei: ein horizontales oder verticales Nachbild zeigt nun eine wirkliche Neigung gegen seine ursprüng-

[1] RUETE, Ein neues Ophthalmotrop. 1857.
[2] Archiv für Ophthalmologie, Bd. 8, 2, 1862, S. 88.
[3] Eine ältere, einfachere, freilich aber auch unvollkommenere Form eines Ophthalmotrops findet sich in der 4. Aufl. dieses Werkes Fig. 153 (Bd. 2, S. 123) beschrieben und abgebildet.

liche Richtung, die davon herrührt, dass, während die Gesichtslinie aus einer ersten in eine zweite Lage übergegangen ist, zugleich das ganze Auge eine Rollung um die Gesichtslinie erfahren hat. Man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man in dem vorhin beschriebenen Versuch bei der Erzeugung des Nachbildes den Kopf vor- oder rückwärts beugt, so dass sich die Blicklinie nicht in der Primärstellung befindet, die Wand aber, wie früher, zu ihr annähernd senkrecht ist. Verfolgt man nun mit dem Blick die auf dem Carton gezogenen Linien, so zeigt das Nachbild Drehungen gegen dieselben, die aber für den verticalen und horizontalen Schenkel des Kreuzes von gleicher Größe und Richtung, nicht, wie bei den von der Projection herrührenden Verschiebungen, ungleich sind[1]. Die auf diese Weise entstehenden Rollungen sind übrigens sehr klein, so lange das Auge nicht in extreme Stellungen übergeht, die normaler Weise, wo alle umfangreichen Drehungen durch den Kopf mitbesorgt werden, kaum vorkommen; ihrer Größe nach stimmen sie annähernd zu der Voraussetzung, dass auch die Orientirungen von Secundärstellungen aus um Achsen erfolgen, die in der vorhin bezeichneten Achsenebene liegen[2]. Es ist übrigens an und für sich klar, dass, wenn alle Drehungsachsen in dieser Ebene liegen, bei den Bewegungen von Secundärstellungen aus Rollungen um die Blicklinie eintreten müssen, weil eben in diesem Fall die Drehungsachse nicht senkrecht stehen kann auf der Ebene, in der sich die Blicklinie bewegt, einen einzigen Fall ausgenommen: wenn nämlich die Ebene der Drehung den durch die Primärstellung gelegten Meridiankreisen angehört oder, mit andern Worten, wenn die Blicklinie eine solche Bewegung ausführt, die man sich ohne Wechsel der Drehungsachse von der Primärstellung ausgehend oder in sie fortgesetzt denken kann. Die vermöge solcher Rollungen zu erwartenden Störungen des Sehens werden jedoch dadurch vermindert, dass der Kopf durch seine Bewegungen dem Auge umfangreichere Drehungen erspart. Diese Betheiligung des Kopfes an der Blickbewegung ist nach den verschiedenen Richtungen verschieden: sie ist am kleinsten bei den vorzugsweise vom Auge eingeübten Bewegungen nach unten[3]. Eine ähnliche compensatorische Bedeutung haben wahrscheinlich die nicht unerheblichen Abweichungen von dem Listing'schen Gesetze, die bei umfangreicheren Augenbewegungen beobachtet werden. Bemerkenswerth unter ihnen sind besonders diejenigen bei starken Convergenzbewegungen. Sie bestehen darin, dass mit Zunahme des Convergenzwinkels der verticale Meridian mehr nach außen beziehungsweise weniger nach innen gedreht wird, als nach dem Listing'schen Gesetz zu erwarten wäre. Mit der Senkung der Blickebene nimmt diese Abweichung zu. Dies steht, wie wir unten sehen werden, in unmittelbarer Beziehung zu den beim Nahesehen stattfindenden Bedingungen der Wahrnehmung[4].

---

[1] In manchen Darstellungen der Augenbewegungen, z. B. in der sonst vorzüglichen von Helmholtz, werden die Projectionsdrehungen und diese wirklichen Rollungen nicht hinreichend klar geschieden. Das angegebene Kriterium bildet aber hier stets ein sicheres Unterscheidungsmittel, oder, wie man das nämliche auch ausdrücken kann: wirkliche Rollungen sind immer solche, die bei der Projection des als Merkzeichen dienenden Nachbildstreifens auf eine zur Blicklinie senkrechte Ebene bestehen bleiben.

[2] Helmholtz, Physiologische Optik[1], S. 467. [2] S. 623 ff. Archiv für Ophthalmologie, Bd. 9, 2, 1863, S. 206.

[3] Ritzmann, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 21, 2, 1875, S. 131.

[4] Donders, Pflügers Archiv, Bd. 13, 1876, S. 392.

3. Einfluss der Augenbewegungen auf die Ausmessung des Sehfeldes.

a. Einfluss der Bewegungsgesetze auf die Ordnung der Punkte im Sehfeld.

Dem ruhenden Auge erscheint das Sehfeld, sobald speciellere Bedingungen fehlen, die irgend eine andere Ordnung bewirken, als innere Oberfläche einer Kugelschale. An einer solchen scheinen uns die Gestirne vertheilt zu sein, und der Himmel selbst erscheint unserm Auge noch heute als das, wofür kindlichere Zeiten ihn wirklich hielten, als ein kugelförmiges Gewölbe. In der unter dem Horizont gelegenen Hälfte des Sehfeldes hört diese Kugelform auf, weil hier durch die Bodenebene und die auf ihr befindlichen Gegenstände andere und im ganzen wechselndere Bedingungen gegeben sind. Der naheliegende Grund jener Anschauung ist aber die Bewegung des Auges. Bei dieser beschreibt der Fixationspunkt fortwährend größte Kreise, die einer Hohlkugelfläche angehören. Als Mittelpunkt des kugelförmigen Sehfeldes, das wir beim Mangel sonstiger Motive erblicken, ist daher der Drehpunkt des Auges zu betrachten. Da jedoch auch das ruhende Auge sein Sehfeld kugelförmig sieht, so liegt eigentlich hierin schon ein Grund zu vermuthen, die Raumvorstellungen überhaupt seien unter dem Einfluss der Bewegung entstanden. Es lässt sich dem freilich entgegenhalten, möglicherweise besitze die Netzhaut unabhängig davon eine ihr innewohnende Energie, ihre Bilder auf ein kugelförmiges Sehfeld zu beziehen, — vielleicht, weil sie selbst kugelförmig gekrümmt ist. Hier tritt nun aber eine Reihe von Beobachtungen entscheidend ein, welche zeigen, dass wir nicht nur im allgemeinen die Netzhautbilder auf eine Fläche im äußern Raum beziehen, die der Bewegung des Auges entspricht, sondern dass auch die einzelne Ordnung der Punkte auf dieser Fläche durch die Bewegungsgesetze des Auges bestimmt ist.

Nennen wir die Fläche, auf welcher der Fixations- oder Blickpunkt bei seinen Bewegungen hin- und hergeht, das Blickfeld, so können wir die oben besprochenen Thatsachen in den Satz zusammenfassen: das Sehfeld des bewegten sowohl wie des ruhenden Auges hat im allgemeinen die nämliche Form wie das Blickfeld. Um jetzt weiterhin den Einfluss der Bewegung auf die Ordnung der Punkte im Sehfelde zu ermitteln, denken wir uns am zweckmäßigsten die Veränderungen, die am Auge vor sich gehen, in das Blickfeld hinübergetragen. Es wird dann im allgemeinen jede Bewegung der Blicklinie einer vom Blickpunkt beschriebenen Curve entsprechen. Nennen wir denjenigen

Blickpunkt, welcher der Primärstellung der Gesichtslinie angehört, den Hauptblickpunkt, so erfolgen von der Primärstellung aus alle Drehungen so, dass der Blickpunkt größte Kreise beschreibt, die sich im Hauptblickpunkt durchschneiden. Stellen wir uns das Blickfeld als eine ganze Kugel vor, so schneiden sich diese Kreise, die man die Meridiankreise des Blickfeldes nennen kann, noch in einem zweiten dem Hauptblickpunkt gerade gegenüber liegenden Punkt der Kugeloberfläche, dem Occipitalpunkt. Der Hauptblickpunkt und der Occipitalpunkt sind somit entgegengesetzte Endpunkte eines Durchmessers. Die Fig. 253 zeigt das so construirte gesammte Blickfeld in perspectivischer Ansicht. A ist das Auge, H der Hauptblickpunkt, O der Occipitalpunkt, die Linie HO liegt, gemäß der Primärstellung, etwas unter der Horizontalebene; durch H und O sind die Meridiankreise gezogen[1]. Denken wir die letzteren vom Drehpunkt als dem Mittelpunkt des kugelförmigen Blickfeldes aus auf eine Ebene projicirt, die auf der Primärstellung der Gesichtslinie senkrecht steht, so bilden sie sich hier als gerade Linien ab, die sich im Fixationspunkt durchschneiden; die horizontale derselben entspricht dem Netzhauthorizont. Wir wollen diese Projection das ebene Blickfeld und die geraden Linien, die in ihm als Projectionen der Meridiankreise vom Hauptblickpunkte auslaufen, die Richtlinien nennen.

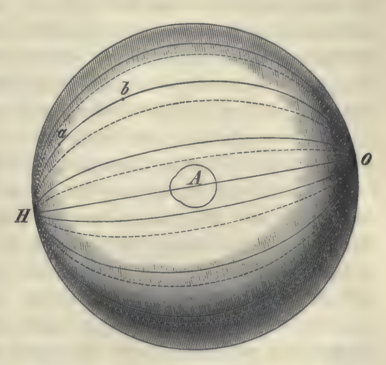


Fig. 253. Das Auge und sein Blickfeld.

Wenn sich nun das Auge von der Primärstellung aus dreht, so muss sich die Gesichtslinie in Meridiankreisen oder auf dem ebenen Blickfeld in Richtlinien bewegen. Hierbei bleibt nach dem LISTING'schen Gesetz das gegenseitige Lageverhältniss der Meridiankreise im kugelförmigen Blickfeld ungeändert. Wenn der Blickpunkt von H zuerst auf a und dann auf b (Fig. 253) übergeht, so fällt beim zweiten Act dieser Bewegung der Bogen a b genau auf dieselbe Stelle der Netzhaut wie vorher der

[1] Um die Lage irgend eines Punktes im Blickfeld oder Sehfeld genau zu bestimmen, kann man dasselbe außer in Meridiankreise noch in Breitekreise eintheilen, die parallel einem die Achse HO halbirenden Aequatorialkreise verlaufen. Es erfolgt dann die Lagebestimmung ganz nach Analogie der geographischen Ortsbestimmung. Aber für die Bewegung des Auges haben nur die Meridiankreise eine Bedeutung, als die Wege, die nach dem LISTING'schen Gesetz der Blickpunkt von der Primärstellung aus einschlägt.

Bogen *Ha*. Denken wir uns jetzt das in Fig. 253 dargestellte, der Primärlage entsprechende Blickfeld fixirt und dann das Sehfeld des ruhenden Auges in derselben Weise in Meridiankreise getheilt, so dass in der Primärstellung Blickfeld und Sehfeld zusammenfallen, so können wir uns vorstellen, bei den Bewegungen verschiebe sich das Sehfeld gegen das Blickfeld wie eine Kugelschale gegen eine ihr concentrische. Es verschiebt sich dann bei allen Drehungen von der Primärstellung aus derjenige Meridiankreis des Sehfeldes, in welchem die Blicklinie liegt, genau in demjenigen Meridiankreis des Blickfeldes, mit dem er in der Primärstellung zusammenfiel: beide Meridiankreise decken einander während der ganzen Bewegung. Wäre das LISTING'sche Gesetz nicht erfüllt, erführe das Auge bei jeder Drehung zugleich eine Rollung um die Blicklinie, so würde eine solche fortwährende Deckung der einander entsprechenden Meridiankreise nicht stattfinden, sondern es würde sich der Meridiankreis des Sehfeldes gegen den ihm entsprechenden des Blickfeldes drehen, und er würde fort und fort mit andern Meridiankreisen des letzteren zusammenfallen. Bei denjenigen Bewegungen, die nicht von der Primärlage ausgehen, wird dies wegen der hierbei stattfindenden Rollungen auch in der That der Fall sein. Die Bewegungen von der Primärlage aus sind also bevorzugt, weil bei ihnen die Auffassung der Richtungen im kugelförmigen Blickfeld durch die gleichförmige Orientirung des Auges begünstigt ist. Denn eine sichere Bestimmung der Richtungen ist nur möglich, wenn die Wahrnehmungen, die bei der Bewegung des Blicks stattfinden, mit der Auffassung des ruhenden Auges übereinstimmen. Eine Linie, bei deren Verfolgung sich der Blick in einem Meridiankreise bewegt, muss dem ruhenden Auge im selben Meridiankreise erscheinen, wenn sich kein Widerspruch zwischen beiden Wahrnehmungen herausstellen soll. Dies trifft aber zu, wenn zwischen dem ruhenden Blickfeld und dem bewegten Sehfeld jene Uebereinstimmung besteht, die sich aus dem LISTING'schen Gesetze ergibt. Bei den Bewegungen, die nicht von der Primärlage ausgehen, wird dann allerdings die Auffassung der Richtungen eine mangelhaftere sein. In der That lehrt jedoch die Erfahrung, dass wir, wo es sich um eine genaue Abmessung der Richtung von Linien handelt, dem Auge unwillkürlich eine etwas zum Horizont geneigte, der Primärlage entsprechende Stellung geben.

Diese Uebereinstimmung der von dem Blick verfolgten Richtungen im Blick- und Sehfeld besteht ferner nur dann, wenn das Netzhautbild auf eine kugelförmige Blick- und Sehfeldfläche bezogen wird; sie hört auf, sobald irgend eine andere Form, z. B. eine Ebene, an deren Stelle tritt. Denken wir uns daher die in der Primärstellung zur Blicklinie senkrechte Ebene als unveränderliches Blickfeld, und nehmen wir als

wechselndes Sehfeld eine andere Ebene an, die wieder in der Primärstellung mit dem Blickfeld zusammenfällt, aber mit der Blicklinie wandert, so werden sich die Richtlinien dieser beiden Ebenen, die sich in der Ausgangsstellung decken, jetzt nur noch bei der Bewegung in zwei Richtungen innerhalb der gleichen Meridiankreise verschieben: dann nämlich, wenn die Drehung von der Primärlage aus gerade nach oben und unten oder gerade nach außen und innen geht. Sobald dagegen das Auge eine andere Stellung einnimmt, so müssen die Richtlinien des Blickfeldes und Sehfeldes gegen einander geneigt erscheinen; denn denkt man sich nun durch den Drehpunkt und die betreffende Richtlinie des Sehfeldes eine Ebene gelegt, so trifft die letztere das Blickfeld nicht mehr in derjenigen Richtlinie, die in der Ausgangsstellung mit ihr zusammenfiel. Vielmehr geben nun die in Fig. 251 (S. 529) dargestellten Projectionen, wie in den dort beschriebenen Nachbildversuchen, so auch hier die Drehungen der Richtlinien an. Die in der Primärstellung zur Blicklinie senkrechte Wand AB entspricht hier dem ebenen Blickfeld. Denken wir uns dann die in der Ausgangsstellung mit AB zusammenfallende Wand $A'B'$ so mit der Blicklinie bewegt, dass sie stets zu dieser senkrecht bleibt, so ist die wandernde Ebene $A'B'$ das ebene Sehfeld. Ein Nachbild, das in der Primärstellung mit einer der Richtlinien zusammenfällt, deckt in irgend einer Secundärstellung wieder die nämliche Richtlinie des ebenen Sehfeldes; auf das unveränderliche Blickfeld projicirt schließt es aber mit der Richtlinie, mit der es ursprünglich zusammenfiel, einen bestimmten Winkel ein. Die Fig. 250 (S. 528), welche die Neigung dieses Winkels bei den vier schrägen Stellungen für ein ursprünglich verticales und horizontales Nachbild angibt, stellt also zugleich das Lageverhältniss dar, das die Richtlinien des Sehfeldes zu denen des Blickfeldes besitzen, wenn das letztere eine zur Primärstellung senkrechte Ebene ist und das Sehfeld auf dieses Blickfeld projicirt wird.

Kann nun das Auge, wie jene Nachbildversuche lehren, ein auf seiner Netzhaut oder in seinem Sehfelde rechtwinkliges Kreuz in seinem Blickfelde schiefwinklig sehen, so wird aber auch umgekehrt ein im Sehfelde schiefwinkliges Kreuz auf das Blickfeld bezogen rechtwinklig erscheinen können. Die Richtigkeit dieses Satzes lässt sich leicht auf folgende Weise bestätigen. Man nehme einen großen Bogen weißen Papiers, in dessen Mitte man einen schwarzen Punkt anbringt, der als Fixirpunkt dient. Dieser Bogen, in der Primärstellung senkrecht zur Blicklinie gehalten, repräsentirt das Blickfeld, d. h. diejenige Fläche, die der Blickpunkt successiv durchwandern kann. Nun bringe man seitlich vom Fixirpunkt zwei schwarze Papierstreifen, die genau in einer Verticallinie liegen, auf demselben Bogen an. Man wird dann bemerken, dass

dieselben nur dann in einer Verticallinie zu liegen scheinen, wenn ihre Richtung entweder mit der durch den Blickpunkt gelegten Verticalen sich deckt oder zu der durch den Blickpunkt gelegten Horizontalen im Raume senkrecht ist. In den übrigen Theilen des Blickfeldes dagegen muss man den Objecten eine schräge Lage geben, wenn sie im indirecten Sehen vertical erscheinen sollen, und zwar muss in allen diesen Lagen das in verticaler Richtung vom Blickpunkt entferntere Object auch nach der horizontalen weiter von demselben weggeschoben werden. Die Lage, die den beiden Papierstreifen in den verschiedenen Meridianen des Blickfeldes gegeben werden muss, wenn sie in einer verticalen Linie liegend erscheinen sollen, entspricht also ganz derjenigen Richtung, die nach Fig. 250 (S. 528) ein verticales Nachbild annimmt, wenn der Blick auf der ursprünglichen, zur Primärstellung senkrechten Blickebene hin- und herwandert. Bestimmt man in ähnlicher Weise die Lage der im indirecten Sehen horizontal erscheinenden Punkte, so findet man, dass diese in den schräg geneigten Meridianen wieder, diesmal aber nach der entgegengesetzten Richtung abweichen, ganz wie es nach Fig. 250 der Neigung entspricht, die ein in der Primärstellung horizontales Nachbild beim Wandern des Blicks annimmt. Gibt man dem Papierbogen eine andere, der Primärstellung nicht entsprechende Lage, so werden auch die Richtungen, die man den indirect gesehenen Punkten geben muss, um sie vertical oder horizontal erscheinen zu lassen, andere als vorhin; immer aber fallen sie mit jenen Richtungen zusammen, die bei wanderndem Blick ein verticales und horizontales Nachbild in seiner Projection auf die Ebene

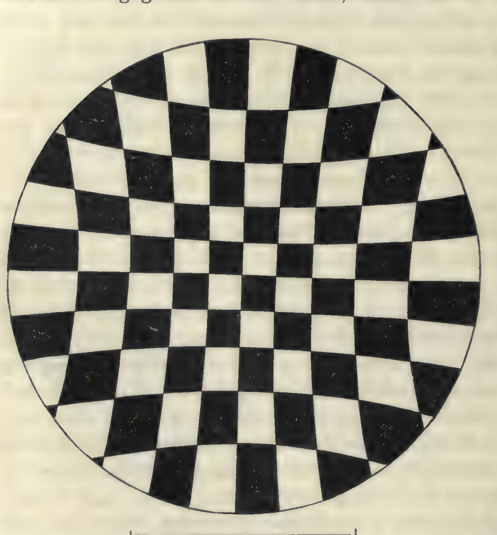


Fig. 254. Recklinghausens Figur.

des Papiers hat. Die geschilderten Neigungen der scheinbar verticalen und horizontalen Linien im Sehfeld lassen sich daher gleichzeitig für alle Meridiane des letzteren an der zuerst von RECKLINGHAUSEN construirten Fig. 254 beobachten. Bringt man dieselbe in etwa 5fach vergrößertem Maßstabe in eine zur Primärstellung senkrechte Ebene, während man ihren Mittelpunkt in einer Distanz des Auges, die der darunter gezeichneten Graden proportional ist, monocular fixirt, so verschwindet die hyperbolische Krümmung der Linien: die Figur wird als ein Schachbrettmuster gesehen, das aus gleich großen schwarzen und weißen Quadraten besteht[1].

b. Die Schärfe des Augenmaßes.

Distanzen im Sehfelde können wir nur dann mit einiger Genauigkeit vergleichen, wenn sie gleiche Richtungen haben. Wenn wir z. B. einer gegebenen Geraden eine zweite gleich machen wollen, so müssen wir ihr die nämliche Richtung geben. Auch dann werden freilich noch Fehler begangen, und diese sind sogar sehr beträchtlich, wenn man etwa versucht, bei starrer Fixation oder bei momentaner Beleuchtung durch den elektrischen Funken solche Größenschätzungen auszuführen. Dagegen ist das Augenmaß für lineare Raumgrößen innerhalb gewisser Grenzen ein sehr sicheres und genaues, wenn man gerade Linien von gleicher Richtung mit bewegtem Auge vergleicht. Wo wir von einer Schätzung nach dem Augenmaß reden, da setzen wir daher diese Bedingungen, unter denen die der gleichen Richtung offenbar zugleich mit der Forderung der Bewegung in gleichen Richtkreisen eng zusammenhängt, im allgemeinen als eine selbstverständliche voraus. Auch bei den Versuchen, die Schärfe des Augenmaßes zu bestimmen, hat man deshalb mit Recht die gleichen Bedingungen festgehalten. Zu ihnen kommt dann noch als eine weitere, aus den associativen Wahrnehmungscomponenten entspringende die, dass sich die zu vergleichenden linearen Raumstrecken nicht in ungleicher Entfernung vom Auge befinden dürfen. Ist das letztere der Fall, so ergeben sich gewisse Fehler, die theils von der verschiedenen Größe der beiden Netzhautbilder, theils aber auch von der wechselnden Entfernungsvorstellung herrühren. Hierbei wird allerdings der durch das erste dieser Momente verursachte Fehler durch das zweite meist mit großer Annäherung ausgeglichen: man sieht also zwei gleich große Distanzen annähernd gleich, auch wenn die eine weiter entfernt ist

---

[1] VON RECKLINGHAUSEN, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 5, 2, 1859, S. 127. Den Zusammenhang dieser Erscheinung mit den Bewegungsgesetzen hat erst HELMHOLTZ nachgewiesen (Physiologische Optik[1], S. 548. [2] S. 694). Ich habe oben eine etwas andere Form des Versuchs gewählt, indem ich die Beobachtung über die Abweichung der Richtungen im indirecten Sehen mit Nachbildversuchen combinirte, wodurch der Zusammenhang mit den Bewegungsgesetzen deutlicher wird.

als die andere. Dennoch ist der Fehler, den man bei der Schätzung begeht, erheblich größer, als wenn beide Distanzen gleich weit entfernt sind; auch wechselt er bei verschiedenen Individuen, indem die Einen die nähere, die Andern die entferntere Distanz größer zu schätzen geneigt sind[1]. Endlich schätzt man den Abstand zweier durch einen leeren Zwischenraum getrennter Punkte ungenauer als die Größe einer geraden Linie. Will man daher Distanzen gleicher Richtung unter gleichförmigen Bedingungen vergleichen, so müssen sie entweder beide in der Form von geraden Linien oder beide als Punktdistanzen gegeben sein, wobei aber zugleich der erstere Fall für die Genauigkeit des Augenmaßes der günstigere ist.

Unter Voraussetzung dieser Bedingungen lässt sich nun die Schärfe des Augenmaßes nach jeder der früher (in Bd. 1, S. 466 ff.) erörterten psychischen Maßmethoden prüfen; nur die Methode der mittleren Abstufungen ist in diesem Fall, weil sie kein directes Maß der Unterschiedsempfindlichkeit ergibt, nicht angebracht. Unter den übrigen empfehlen sich namentlich die der Minimaländerungen und der mittleren Fehler, wobei die letztere in der Regel so angewandt wird, dass der Beobachter selbst einer gegebenen Normalstrecke eine variable Vergleichsstrecke gleich macht. Die meisten Versuche sind nach der letzteren Methode ausgeführt worden. Sie ergeben sämmtlich, unter der Voraussetzung geradliniger Abstände von gleicher Richtung, innerhalb ziemlich weiter Grenzen eine Uebereinstimmung mit dem WEBER'schen Gesetz. So fand VOLKMANN bei der Schätzung horizontaler Liniendistanzen zwischen 10 und 240 mm in einer Sehweite von 768 mm folgende relative Werthe des mittleren variablen Fehlers:

10	20	40	80	120	160	200	240
1,160	1,005	0,730	0,924	1,010	0,962	0,945	0,900[2]

Spätere Versuche VOLKMANNS[3] stimmen damit im ganzen überein, zeigen aber zugleich, dass bei sehr kleinen Distanzen (unter und wenig

[1] FECHNER, Elemente der Psychophysik, Bd. 2, S. 312.
[2] FECHNER, Elemente der Psychophysik, Bd. 1, S. 211 ff. Revision, S. 338.
[3] Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik. 1863, S. 117 ff. Allerdings ist bei diesen ebenso wie in den späteren, ähnlichen Versuchen von CHODIN (Archiv für Ophthalmologie, Bd. 23, 1, 1877, S. 92), MÜNSTERBERG (Beitr. zur exper. Psychol. Heft 2, S. 125 ff.) und HIGIER (Philos. Stud. Bd. 7, 1892, S. 232 ff.) das Princip der Fehlermethode nicht rein angewandt worden. Vgl. die Discussion von CHODINS Versuchen bei FECHNER, Revision der Hauptpunkte der Psychophysik, S. 340. Die Versuche MÜNSTERBERGS sind zwar in ihrer Gesammtzahl sehr groß, aber bei der Menge von Distanzen, über die sie sich erstrecken, sind die auf eine einzelne Distanzgröße kommenden viel zu klein an Zahl. Die Versuche HIGIERS nach der Methode der *r*- und *f*-Fälle sind dadurch getrübt, dass er die Gleichheitsfälle wegließ. In Folge dessen lassen die etwas abweichenden Resultate dieser Beobachter keine weiteren Schlüsse zu.

über 1 mm) das WEBER'sche Gesetz nicht mehr zutrifft, sondern dass hier eher eine annähernde Constanz der absoluten Unterschiedsschwelle besteht. Ebenso fanden sich bei größeren Distanzen (über 300 bis 800 mm Sehweite) erhebliche Abweichungen. Zu dem nämlichen Ergebniss führten, mit einer im ganzen noch größeren Constanz des relativen variabeln Fehlers, R. FISCHERs Versuche, der sowohl horizontale wie verticale Liniendistanzen prüfte. Zugleich erwies sich hierbei der variable Fehler bei der Halbirung einer geraden Strecke geringer als bei der Vergleichung zweier unabhängig von einander gegebener Linien. Im ersteren Fall betrug er 0,64 bis 0,67, im zweiten 1,31 bis 1,43‰ der Normaldistanz, wenn sich diese zwischen 6 und 45 mm bei 200 mm Fixationsdistanz des (kurzsichtigen) Auges bewegte[1]. Eine sehr genaue Uebereinstimmung mit dem WEBERschen Gesetze fand endlich noch JUL. MERKEL, dessen Versuche sich aber auf Horizontalstrecken zwischen 1 und 50 mm beschränkten[2]. Directe Bestimmungen der Unterschiedsschwelle mittelst minimaler Aenderungen sind bis jetzt nur nach dem älteren tastenden Verfahren der eben merklichen Unterschiede von FECHNER[3], VOLKMANN[4] und CHODIN[5] ausgeführt. FECHNER fand bei mittleren Distanzen eine relative Unterschiedsschwelle von $\frac{1}{40}$; bei VOLKMANN, dessen hierher gehörige Beobachtungen sich aber nur auf sehr kleine Strecken (von 0,3 bis 4,8 mm) beziehen, schwankte dieselbe im ganzen zwischen $\frac{1}{45}$ und $\frac{1}{60}$, konnte aber in einzelnen Fällen $\frac{1}{100}$ erreichen. CHODIN erhielt bei der Variation verticaler Distanzen von 2,5 bis zu 160 mm folgende Werthe:

2,5	5	10	20	40	80	160 mm
$^1/_{17}$—$^1/_{26}$	$^1/_{29}$—$^1/_{32}$	$^1/_{37}$—$^1/_{45}$	$^1/_{53}$—$^1/_{57}$	$^1/_{44}$—$^1/_{36}$	$^1/_{39}$—$^1/_{32}$	$^1/_{43}$—$^1/_{30}$

Für horizontale Strecken war, wie auch bei VOLKMANN, die Unterschiedsempfindlichkeit größer.

Aus allen diesen Beobachtungen geht hervor, dass die relative Unterschiedsschwelle des Augenmaßes bei gewissen mittleren Distanzen, in deren Schätzung wir vorzugsweise geübt sind, einen annähernd constanten Werth hat, dass sie aber nicht nur untere und obere Abweichungen zeigt, wie sie die Gültigkeit des WEBER'schen Gesetzes regelmäßig begleiten, sondern dass sie auch mehr, als es sonst zu geschehen pflegt, mit den Versuchsbedingungen wechselt. Wahrscheinlich kommt bei den letzteren eine Reihe bisher kaum beachteter Momente in Betracht, wie die Begrenzung des Sehfeldes, die Beschaffenheit, besonders die Deutlichkeit der

[1] R. FISCHER, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 31, 1, 1891, S. 97 ff.
[2] MERKEL, Philos. Stud. B. 9, 1894, S. 93, 176 ff.
[3] Elemente, Bd. 1, S. 233 f.
[4] Physiologische Untersuchungen, S. 129 ff. FECHNER, Revision, S. 350 ff.
[5] Archiv für Ophthalmologie, Bd. 23, 1, 1877, S. 99 ff.

Fixationslinien u. s. w. Außerdem scheint in den verschiedenen Versuchen nicht zureichend darauf Rücksicht genommen zu sein, ob und wie das bewegte Auge die Strecken durchläuft. Für den wesentlichen Einfluss der Bewegung des Auges spricht übrigens schon der Umstand, dass wir irgend genauere Distanzunterscheidungen überhaupt nur bei bewegtem Auge ausführen können, und dass daher auch die exactere Auffassung und Vergleichung einfacher geometrischer Formen durchaus an die Bewegung gebunden ist[1]. Berücksichtigt man dies, so ist es von vornherein nicht unwahrscheinlich, dass es sich bei allen diesen Versuchen direct nicht sowohl um Vergleichungen der Größe von Netzhautbildern, als vielmehr um die Vergleichung von Augenbewegungen handelt. In der That wird diese Vermuthung dadurch bestätigt, dass, wie wir unten sehen werden, für die Unterscheidung von Augenbewegungen nicht nur ebenfalls innerhalb der entsprechenden Grenzen das WEBER'sche Gesetz gilt, sondern dass auch die Unterschiedsschwelle für Augenbewegungen mit der Unterschiedsschwelle für lineare Distanzen ihrem numerischen Werthe nach zusammenfällt (vgl. unten 5, b).

c. Normale Täuschungen des Augenmaßes. (Geometrisch-optische Täuschungen.)

In vielen Fällen beobachtet man, dass die Schätzungen nach dem Augenmaß mit der Ueber- oder Unterschätzung einer räumlichen Größe im Verhältniss zu einer andern mit ihr verglichenen verbunden sind. Solche Abweichungen bezeichnen wir als normale Täuschungen des Augenmaßes oder auch, weil dieselben vorzugsweise leicht an einfachen geometrischen Figuren bemerkt werden, als geometrisch-optische Täuschungen. Rein phänomenologisch, ohne Rücksicht auf ihre muthmaßliche Entstehung, die natürlich erst aus einer sorgfältigen Analyse der hierher gehörigen Erscheinungen zu erschließen ist, lassen sich diese sämmtlichen Täuschungen in vier Gruppen ordnen: 1) umkehrbare perspectivische Täuschungen, 2) nicht umkehrbare, aber mit der Aenderung der Bedingungen variable Strecken- und Winkeltäuschungen mit perspectivischen Nebenvorstellungen, 3) constante, durch äußere Bedingungen nicht variirbare Strecken- und Richtungstäuschungen, ohne perspectivische Nebenvorstellungen, endlich 4) variable Täuschungen, die unter dem Einfluss gleichzeitig gegebener analoger Objecte zu stande kommen. Da diese vierte Gruppe sichtlich auf Bedingungen zurückführt, die dem allgemeinen Gebiet der Associationsvorgänge angehören, so mag es gestattet sein, sie unter dem Namen der »Associationstäuschungen« zusammenzufassen.

---

[1] R. SEYFERT, Philos. Stud. Bd. 14, 1898, S. 550. Bd. 18, 1902, S. 189 ff.

1. Die umkehrbaren perspectivischen Täuschungen entstehen bei der Betrachtung geometrischer Conturenzeichnungen, die als Begrenzungslinien räumlicher Figuren von abweichender Beschaffenheit gedeutet werden können. In der unmittelbaren Wahrnehmung wird dann das Bild stets im Sinne einer bestimmten unter diesen, in gegensätzlichen Formen einander gegenüberstehenden Deutungen gesehen. Der Wahrnehmungsact selbst darf dabei jedoch nimmermehr als eine »Deutung« bezeichnet werden, wenigstens nicht in dem üblichen Sinne dieses Wortes, in welchem dasselbe auf irgend welche logische Ueberlegungen hinweist. Vielmehr erscheint in allen solchen Fällen das Object ebenso als unmittelbare plastische Wirklichkeit wie etwa ein stereoskopisches Object oder eine mit starken perspectivischen Wirkungen ausgeführte Zeichnung. Von diesen beiden unterscheidet sich die Erscheinung nur durch ihre Umkehrbarkeit, und diese kann dann zugleich in Folge des nicht selten vorkommenden Uebergangs der einen in die andere Form eine lebhafte Unruhe des Bildes bewirken, wie sie bei eindeutigen körperlichen Objecten oder Zeichnungen nicht vorkommt. Um die Erscheinungen möglichst lebhaft zu sehen, ist, wie bei der Wahrnehmung perspectivischer Effecte ebener Zeichnungen überhaupt, monoculare Betrachtung erforderlich. Als die entscheidende und in allen Fällen unweigerlich wirksame unmittelbare Bedingung für die Beschaffenheit der körperlichen Vorstellung erweist sich aber hierbei die Richtung der Blickbewegung und der Augenstellung. Denn alle diese umkehrbaren perspectivischen Täuschungen folgen der Regel: die Theile des Bildes, von denen die Blickbewegung ausgeht, erscheinen dem Beschauer näher als jene, nach denen hin die Blickbewegung erfolgt; und bei ruhendem Auge: die Grenzpunkte des Objectes, die der Blick fixirt, erscheinen näher als solche Punkte, die sich im indirecten Sehen befinden, sofern die letzteren nicht etwa nach der Beschaffenheit der Zeichnung in gleicher Entfernung mit dem Fixirpunkte liegen müssen.

Da diese Erscheinungen noch ein allgemeineres, über die Frage der Bildung räumlicher Gesichtsvorstellungen hinausreichendes Interesse beanspruchen, indem sie nämlich lehrreiche Fälle gewisser Associationsprocesse überhaupt sind, so soll auf die genauere psychologische Analyse derselben erst an einer späteren Stelle (in Abschn. V) eingegangen werden. Hier kann es um so mehr genügen, das Princip dieser Täuschungen an einem einzigen Beispiel zu erläutern, als sich in allen andern Fällen der uns hier interessirende Einfluss der Stellungen und Bewegungen des Auges auf die Richtung der Täuschung in übereinstimmender Weise wiederholt. Fixirt man monocular an der Fig. 255 den Punkt *a* der unten links gelegenen quadratischen Fläche, so erscheint die Zeichnung

als die Combination eines links liegenden erhabenen, und eines rechts liegenden hohlen Prismas, denen die mittlere verticale Fläche gemeinsam ist. Dasselbe plastische Bild bleibt erhalten, wenn man irgend einen Punkt der mittleren Kante *ab* des links liegenden Prismas fixirt, oder wenn man an dieser Kante mit dem Blick aufwärts, oder an irgend einer der von dieser Kante nach rechts und links abgehenden schrägen Linien mit dem Blick abwärts geht. Entsprechend der Fixation des Punktes *a* wirkt auch die des Punktes *f*; und endlich bleibt das gleiche Relief bestehen, wenn man auf den beiden Verticallinien rechts und links von *a b* den Blick nach aufwärts bewegt. Das ganze Relief kehrt sich aber in sein Gegentheil um, das heißt das Prisma links wird zum Hohl- und das rechts zum Convexprisma, wenn man entweder, bevor man irgend einen andern Theil der Figur betrachtet, den Punkt *c* oder auch einen Punkt der Kante *de* fixirt, oder endlich, wenn man auf *de* oder auf einer der rechts und links davon gelegenen Verticallinien den Blick nach abwärts bewegt. Mit dem Uebergang der Figur aus der einen in die andere Form ist zugleich eine scheinbare Drehung um ihre horizontale Achse verbunden. Erscheint nämlich das Prisma links erhaben, so ist der untere Theil der Figur, erscheint dasselbe Prisma vertieft, so ist der obere Theil dem Beschauer zugekehrt. Bei einiger Uebung in der willkürlichen Fixation und in der Beherrschung der Augenbewegungen kann man alle diese Erscheinungen ohne weitere Hülfsmittel wahrnehmen und in jedem Augenblick willkürlich die eine Form des Reliefs in die andere überführen. Es gibt aber noch ein sichereres Mittel, um die Abhängigkeit dieser perspectivischen Täuschungen und ihrer Umkehrungen jedem, auch dem ungeübten Beobachter und sogar einem größeren Zuschauerkreis zumal sichtbar zu machen. Dieses Mittel besteht in der Erzeugung der Erscheinungen auf dem Wege der Skioptikon-Projection, wenn man die Objecte so herrichtet, dass sie beliebig ganz oder theilweise verdeckt und in einer willkürlich zu variirenden Succession dem Beschauer sichtbar gemacht werden können. Projicirt man z. B. im verdunkelten Raum zuerst bloß den Punkt *a* an die Wand, um dann plötzlich die ganze Figur zu enthüllen, so sieht der Beobachter unweigerlich

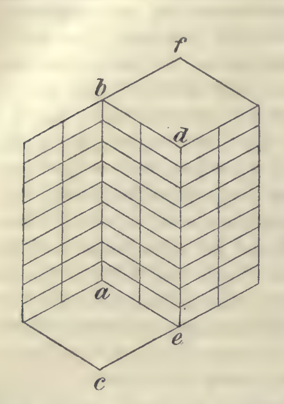


Fig. 255. Umkehrbare perspectivische Täuschung.

die erste Form des Reliefs (*ab* erhaben, *de* vertieft); lässt man vor der plötzlichen Enthüllung bloß *c* sichtbar werden, so erscheint ebenso ausnahmslos die zweite Form (*ab* vertieft, *de* erhaben). Macht man irgend einen Punkt der Kante *ab* sichtbar, und lässt dann von ihm aus zunächst eine nach aufwärts gerichtete verticale Linie entstehen, so tritt wiederum im Moment des Sichtbarwerdens der ganzen Figur das erste Relief hervor (*ab* erhaben). Zieht man vom selben Punkt aus die leuchtende Linie nach abwärts, so entsteht ebenso regelmäßig das zweite Relief (*ab* vertieft), u. s. w. Hierbei überzeugt man sich zugleich, dass der Wille auf diese Erscheinungen ganz ohne Einfluss ist, und dass die sogenannte Einbildungskraft, der so gern gewisse Vorgänge aufgebürdet werden, deren Bedingungen noch nicht näher erforscht sind, mit denselben gar nichts zu thun hat. Man mag noch so sehr wollen oder sich einbilden, dieses oder jenes zu sehen, — unser wirkliches Sehen kümmert sich nicht darum: es folgt unwandelbar den Fixations- und Bewegungsmotiven des Auges. Diese Motive selbst ordnen sich aber sichtlich einem Grundmotiv unter: bei der gewöhnlichen Verfolgung der Begrenzungslinien körperlicher Gegenstände stellen wir fast ausnahmslos die Blicklinie zuerst auf einen näheren Punkt ein, um dann von ihm aus mit ihr auf fernere Punkte überzugehen. Die Association mit den so gewonnenen Vorstellungen wirklicher körperlicher Objecte bestimmt dann den Inhalt einer neu gebildeten Vorstellung, insoweit derselbe nicht durch den unmittelbaren Wahrnehmungsinhalt schon eindeutig gegeben ist. Wo dieser selbst zwei- oder mehrdeutig ist, da entscheiden daher jene Fixations- und Bewegungsbedingungen ohne weiteres für die Richtung der entstehenden Vorstellung. Die umkehrbaren perspectivischen Täuschungen führen demnach auf einen doppelten Einfluss zurück, unter dem jede hierher gehörende Vorstellungsbildung steht: auf den Einfluss associativer Processe, — auf ihn werden wir bei der Untersuchung der Associationen zurückkommen, — und auf den Einfluss der Stellungen und Bewegungen der Blicklinie. Er erweist sich so als ein wahrscheinlich bei allen räumlichen Gesichtsvorstellungen maßgebender. Denn wenn auch die umkehrbaren perspectivischen Täuschungen besonders günstige Fälle sind, um ihn nachzuweisen, so wird man doch schwerlich annehmen können, dass er in andern Fällen, wo das Object diese mehrdeutige Beschaffenheit nicht besitzt, überhaupt nicht existire.

2. Die variabeln Strecken- und Richtungstäuschungen bilden ein überaus mannigfaltiges Gebiet von Erscheinungen, bei denen Unter- oder Ueberschätzung von linearen Strecken oder von Winkeln die vorwaltende Rolle spielen, während auch bei ihnen stets zugleich mehr oder minder ausgeprägt perspectivische Vorstellungen mitbetheiligt

sind. Diese sind aber hier stets nur eindeutiger Art, niemals umkehrbar. Nun lassen sich Täuschungen über die Größe von geraden Linien oder Winkeln nur dadurch als solche erkennen, dass wir eine gegebene Gerade oder einen gegebenen Winkel mit einer andern Geraden oder mit einem andern Winkel von bekannter objectiver Größe vergleichen. Eine solche Vergleichung begegnet aber dann wieder den einfachsten Bedingungen, wenn die den Vergleichungsmaßstab abgebende Größe objectiv der zu messenden gleich ist. Hiernach bezeichnen wir es als eine »Streckentäuschung«, wenn eine Strecke oder die ihr entsprechende gerade Linie größer oder kleiner erscheint als eine ihr gleiche Strecke; und eine »Richtungstäuschung« nennen wir es, wenn eine durch eine gerade Linie bestimmte Richtung von einer andern ihr gleichen abzuweichen scheint, oder wenn ein einen bestimmten Richtungsunterschied messender Winkel größer oder kleiner erscheint als ein anderer ihm objectiv gleicher Winkel. Wir nennen diese Strecken- und Richtungstäuschungen »variabel«, weil die Größe derselben durch die willkürliche Variation ihrer Bedingungen verändert und eventuell zum Verschwinden gebracht werden kann, im Gegensatze zu den nachher zu erörternden »constanten« Strecken- und Richtungstäuschungen, bei denen eine derartige willkürliche Variation nicht möglich ist.

Die regelmäßigen Erscheinungen dieser Täuschungen sind die folgenden: 1) Ausgefüllte Strecken werden überschätzt gegenüber unausgefüllten, eingetheilte im Vergleich mit nicht eingetheilten. 2) Unbestimmt abgegrenzte Strecken werden überschätzt im Vergleich mit bestimmt abgegrenzten. 3) Kleine Richtungsunterschiede (spitze Winkel) werden überschätzt im Verhältniss zu großen (zu stumpfen Winkeln). 4) Jede Ueberschätzung einer Raumgröße, sei es einer geradlinigen Strecke oder eines Winkels, verbindet sich, wenn nicht bestimmte Hindernisse im Wege stehen, mit der perspectivischen Nebenvorstellung einer weiteren Entfernung des überschätzten Raumgebildes vom Auge. Dazu ist noch zu bemerken, dass die Ueberschätzung spitzer Winkel wahrscheinlich nur der specielle Fall der relativen Ueberschätzung kleiner Größen überhaupt ist, einer Täuschung, zu deren Entstehung jedoch Winkel wegen des auffallenderen Eindrucks von Richtungsunterschieden geeigneter sind als lineare Strecken.

Die Fig. 256 zeigt zunächst die Hauptfälle einfacher Streckentäuschungen, die durch die verschiedene Ausfüllung linearer Strecken erzeugt werden. In Fig. 256 *A* sind drei Strecken von gleicher Größe neben einander gezeichnet: eine lineare Strecke, eine leere und eine mehrfach eingetheilte. Die leere Strecke erscheint als die kleinste, nach ihr kommt die einfache Gerade, am längsten erscheint die eingetheilte. Mit

dieser verglichen erscheint aber die nicht eingetheilte Linie zugleich als die dem Beschauer nähere, wie man namentlich bei starrer monocularer Fixation eines zwischen beiden gelegenen Punktes erkennt. Dass übrigens diese Projection nicht die Ursache der Größentäuschung ist, dagegen spricht schon die scheinbare Verkleinerung auch des leeren Zwischenraumes, bei dem gar kein Motiv vorliegt, ihn in irgend eine Tiefe zu verlegen. Näher noch zeigt das nämliche die Fig. 256 *B*, in der eine einzige Gerade in der Mitte und die eine Hälfte dann weiterhin in mehrere Stücke getheilt ist, und wo nun die getheilte Hälfte größer erscheint als die nicht getheilte. Hier kommt wegen der unmittelbar ersichtlichen Zusammengehörigkeit beider Hälften die verschiedene Tiefenprojection wieder, ähnlich wie bei der leeren Strecke, nicht zu stande; gleichwohl bleibt die Größentäuschung deutlich zu bemerken. Dass endlich nicht die im Netzhautbilde sich geltend machende Ausfüllung einer Strecke, sondern dass Motive der Blickbewegung die Größentäuschung verursachen, dafür spricht die Fig. 256 *C*.

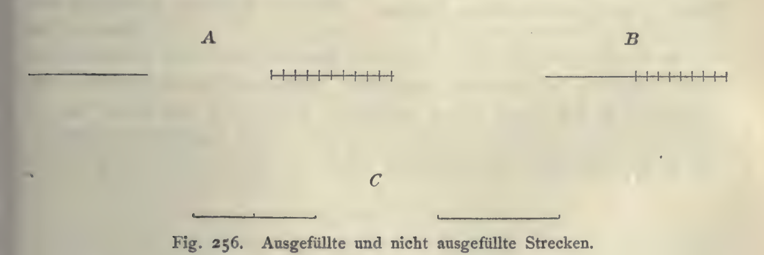


Fig. 256. Ausgefüllte und nicht ausgefüllte Strecken.

Sie besteht genau wie *A* aus drei gleich großen Strecken, einer einfach linearen, einer leeren und einer eingetheilten; aber die letztere unterscheidet sich von der eingetheilten in *A* und *B* darin, dass bloß ein Theilpunkt beibehalten ist. Damit hat sich nun das scheinbare Größenverhältniss völlig verändert: als die längste Strecke erscheint jetzt die ausgezogene Linie rechts, dann kommt die leere, am kleinsten erscheint die durch den mittleren Theilpunkt gegliederte links. Als der Grund dieser Umkehrung drängt sich der subjectiven Beobachtung die wesentlich verschiedene Art der Blickbewegung auf, zu der die Figur herausfordert: bei der Betrachtung der ausgezogenen Linie ist man geneigt, die ganze Linie mit dem Blick zu verfolgen, bei der Betrachtung der in der Mitte getheilten haftet der Blick an dem Theilpunkt, und man pflegt daher die Linie mit relativ ruhendem Blick aufzufassen. Für den secundären Charakter der perspectivischen Nebenvorstellungen spricht es endlich, dass sich auch diese im vorliegenden Fall umkehren; hier scheint nämlich bei

starrer Fixation eines zwischen beiden gelegenen Punktes die ungetheilte Linie die fernere und die eingetheilte die nähere zu sein[1].

Als ein einfaches Beispiel einer Größentäuschung durch wechselnde Begrenzung erscheint die Fig. 257. Beide Halbkreise sind in Wirklichkeit genau gleich groß; aber der durch den Durchmesser geschlossene erscheint viel kleiner, und der Durchmesser selbst erscheint daher in diesem Fall kleiner als die entsprechende leere Strecke des offenen Halbkreises. Auf anologe Bedingungen weisen die von MÜLLER-LYER zuerst beobachteten, in Fig. 258 wiedergegebenen Streckentäuschungen hin. Von den beiden objectiv gleichen geraden Linien erscheint die links liegende mit den nach rückwärts laufenden schrägen Ansatzstücken viel kleiner als die rechts liegende, bei der die angesetzten schrägen Stücke im Sinne der Verlängerung der Linie selbst verlaufen. Hier wird der Blick bei der Durchmessung der Linie angetrieben, über ihre Endpunkte hinauszuschweifen, dort wird er umgekehrt durch die Ansatzstücke festgehalten,

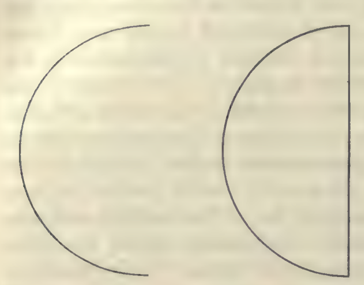


Fig. 257. Geschlossener und offener Halbkreis.



Fig. 258. MÜLLER-LYER'sche Figuren.

anolog wie in der einmal getheilten Linie *C* der Fig. 256 durch den mittleren Punkt; und dieses Motiv wirkt, wie alle diese Blickmotive, nicht bloß bei wirklich bewegtem Blick, sondern auch auf das ruhende Auge. Uebrigens sind die perspectivischen Nebenvorstellungen in diesen Fällen deutlicher als bei den Streckentäuschungen durch Eintheilung: der geschlossene Halbkreis in Fig. 257 erscheint viel näher als der offene, die Linie links in Fig. 258 wird gleichzeitig kleiner und näher, die rechts größer und ferner gesehen. Auch hier kann man diese Täuschung durch

---

[1] KNOX (Amer. journ. of Psychol., vol. 6, 1894, p. 413) hat die Unterschätzung einer leeren im Vergleich mit einer linearen Strecke bei 25—40 mm = $^1/_{13}$ für horizontale und um weniges größer für verticale Distanzen gefunden. Bei diesen Schätzungen blieb aber der Einfluss der perspectivischen Nebenvorstellungen auf die Täuschung unberücksichtigt.

starre Fixation verstärken, wobei sich zugleich, wenn man ein günstiges Lageverhältniss der Linien herstellt, die Gleichheit der Bildgröße zur unmittelbaren Anschauung bringen lässt. Zu diesem Zweck zeichne man beide Linien horizontal so unter einander, dass ihre Endpunkte genau vertical über einander liegen, und fixire dann einen zwischen beiden gelegenen Punkt. Es tritt jetzt die größer gesehene Linie weit in die Tiefe des Raumes zurück, man sieht aber deutlich, wie die Endpunkte der beiden Linien ihrer Bildgröße nach zusammenfallen.

Zu diesen Streckentäuschungen bieten die Richtungs- oder Winkeltäuschungen ein durchaus paralleles Verhalten. Die einfachsten Grundformen derselben sind in Fig. 259 dargestellt. In *A* sieht man wegen der vergrößert erscheinenden spitzen Winkel die Gerade *a b* im Punkte *c* nach unten geknickt. In *B* scheinen wegen der entgegengesetzten Lage der Winkel die beiden Hälften *a c* und *c b* der Geraden *a b* in *c* etwas nach oben geknickt. Auch hier beobachtet man nun wieder begleitende perspectivische Vorstellungen, die besonders bei starrer monocularer Fixation hervortreten. In Figur *A* bestehen dieselben darin, dass sich die beiden Hälften *a c* und *c b* der Linie *a b* von *c* aus vom Beschauer nach der Tiefe des Raumes zu entfernen scheinen, so dass die Knickung ganz in die Tiefendimension verlegt wird und in der Projection auf die Ebene der Zeichnung verschwindet. Leicht lässt sich auch eine secundäre Wirkung dieser Perspective constatiren, wenn man, wie es in der Fig. *A* geschehen ist, die Grundlinie oder eine ihrer Hälften von der Mitte *c* an in gleiche kleine Strecken eintheilt: dann erscheinen nämlich die *c* näheren Strecken kleiner als die ferneren, eine Größentäuschung, die sich in diesem Fall unmittelbar aus der angegebenen Perspective ergibt, da Strecken, die im Netzhautbilde gleich sind, als kleinere Objecte erscheinen, wenn sie näher localisirt werden. Eine andere perspectivische Vorstellung gewinnt man bei starrer monocularer Fixation der Fig. *B*: die Linie *c d* erscheint hier wie eine dem Auge zugekehrte convexe Kante, die zugleich mit ihrem oberen Ende *d* etwas gegen den Beschauer geneigt ist, während sich die Dreiecke *c a d* und *c b d* nach der Tiefe des Raumes erstrecken. Bei dieser Perspective ist die Angleichung der Winkeltäuschungen an das Netzhautbild besonders deutlich, weil sie sich in zwei Eigenschaften der gesehenen Figur äußert. Durch die Projection

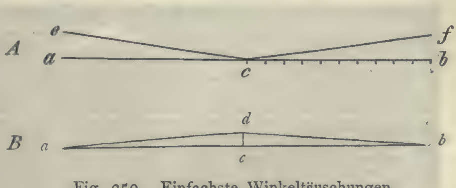


Fig. 259. Einfachste Winkeltäuschungen.

der Winkel a und b in größere Entfernung wird nämlich die Vergrößerung dieser spitzen Winkel mit dem unveränderten Netzhautbilde derselben, und durch die Verlegung der in c stattfindenden Knickung der Linie $a\ b$ in eine die Zeichnungsebene in $a\ b$ schneidende Tiefenebene wird ebenso diese scheinbare Knickung mit dem geradlinigen Netzhautbilde der Linie in Einklang gebracht.

Die in Fig. 259 in ihren einfachsten Formen vorgeführten Richtungstäuschungen können sich nun erheblich steigern, wenn die gleichen Motive an derselben Figur in mehrfacher Wiederholung wiederkehren. So bilden in Fig. 260 die von den Punkten A und B aus gezogenen Strahlen mit der Entfernung von der Mitte der Figur zunehmend spitzere Winkel mit den beiden parallelen Geraden $a\ b$ und $c\ d$. In Folge dessen scheinen die horizontalen Geraden selbst nach beiden Seiten von der Mitte der

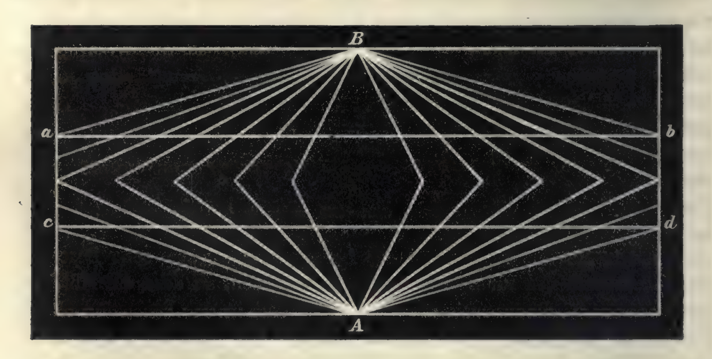


Fig. 260. Pseudoskopische Strahlenfigur.

Figur aus zu divergiren. Das Gegenstück dazu bildet der HERING'sche Stern in Fig. 261. Da hier die Richtung der spitzen Linien die entgegengesetzte ist wie vorhin, zeigen auch die parallelen Linien die umgekehrte Abweichung: sie scheinen gegen $a\ b$ und $c\ d$ zu convergiren. Auf diese Weise bietet Fig. 260 eine Wiederholung des Winkelmotivs von Fig. 259 A, Fig. 261 eine solche von Fig. 259 B. Bei diesen Figuren wird zwar schon durch die an bekannte räumliche Darstellungen erinnernde Construction der Strahlenbüschel die Entstehung perspectivischer Vorstellungen begünstigt. In plastischer Lebendigkeit treten aber diese auch hier erst ein, wenn man im monocularen Sehen einen in der Mitte der Figur gelegenen Punkt fixirt. Dann erscheinen in Fig. 260 die beiden parallelen Geraden wie ein um die Figur geschlungener Ring, der mit seiner con-

vexen Mitte dem Beschauer zugekehrt ist, während er sich nach beiden Seiten in einem mit der Erstreckung in die Tiefe proportional zunehmenden Maße verbreitert. In Fig. 261 bilden umgekehrt die beiden Parallelen einen Ring, der sich, beide Strahlenbüschel durchschneidend, in seiner

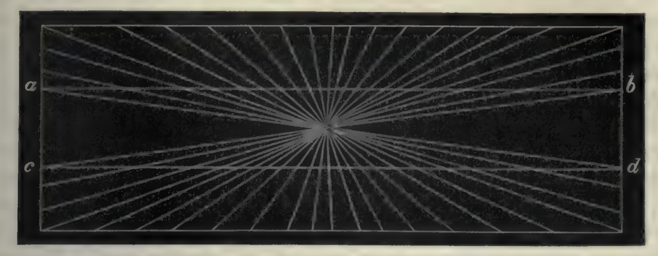


Fig. 261. HERING'sche Sternfigur.

Mitte in die Tiefe erstreckt. Noch auffallender tritt das nämliche Verhältniss an der in Fig. 262 dargestellten Modification einer zuerst von F. ZOELLNER beobachteten Täuschung hervor, weil hier das Motiv der Vergrößerung der spitzen Winkel wegen der wechselnden Richtung der kurzen, die parallelen Geraden durchsetzenden Streifen abwechselnd in entgegengesetzter Richtung wirkt. Verfolgt man die Figur von oben links nach unten rechts, so scheinen zunächst die ersten beiden Linien nach oben, dann die zweite und dritte nach unten zu divergiren, hierauf die dritte und vierte wieder nach oben u. s. w. So lange man nun die Figur mit bewegtem Blick verfolgt, tritt zwar gelegentlich die Neigung auf, einzelne Linien perspectivisch zu sehen, doch kommt es nicht zu einer deutlichen Perspective. Dies wird anders, sobald man sie monocular fixirt: dann erscheinen alle Linien in die Tiefe sich erstreckend, derart dass wieder von links nach rechts gezählt, zunächst die oberste Linie links mit ihrem oberen, dann die zweite mit ihrem unteren Ende dem Beschauer näher liegt, hierauf die dritte wieder mit ihrem oberen

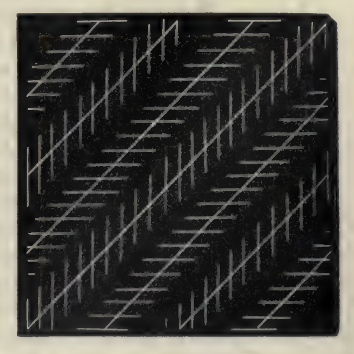


Fig. 262. ZOELLNER'sche Figur.

u. s. w. Deutlich hat man dabei zugleich den Eindruck der gleichen Bildgröße, indem die scheinbare abwechselnde Convergenz und Divergenz der Linien ausschließlich auf ihre wechselnde Erstreckung nach der Tiefe des Raumes bezogen wird. Es ist unschwer zu sehen, dass auch hier, ähnlich wie bei den vorangegangenen Figuren, die so zu stande kommende räumliche Vorstellung diejenige ist, bei der Netzhautbild und scheinbare Richtungsänderung der Linien mit einander in Einklang gebracht sind. Dabei zeichnet sich aber das ZOELLNER'sche Muster dadurch aus, dass die Täuschung, so lange die Linien in eine und dieselbe Ebene verlegt werden, eine paradoxe Erscheinung ist, da eine derartige abwechselnde Convergenz und Divergenz gerader Linien in einer Ebene überhaupt nicht stattfinden kann. Die perspectivische Projection bringt also hier nicht nur die Täuschung mit dem Netzhautbilde, sondern sie bringt sie auch mit den Bedingungen der objectiven Wirklichkeit in Einklang[1]. Die in den Figuren 259—262 überall hervortretende Wechselbeziehung zwischen Richtungstäuschung und perspectivischer Vorstellung wird endlich schlagend bestätigt durch die Erscheinungen, die man an der Fig. 263 *A*, der Modification einer von POGGENDORFF mitgetheilten Figur, beobachtet. Verfolgt man hier den schwarzen verticalen Streifen auf- und abwärts mit dem Blick, so erscheinen die an den Streifen stoßenden Enden der schrägen Linie eingeknickt, so wie es in *B* etwas übertrieben abgebildet ist. Diese Beobachtung beweist zunächst, dass wirklich die scheinbare Winkelvergrößerung und nicht etwa eine aus irgend welchen andern Gründen entstandene scheinbare Lageänderung der Linien die primäre Ursache dieser Täuschungen ist. Verfolgt man nun aber statt des schwarzen Streifens die schräge Linie selbst mit fixirenden Bewegungen, so verschwinden jene Einknickungen: statt dessen ist man nun geneigt, die Schräge perspectivisch zu sehen, so, als wenn ihr unterer Theil dem Beschauer zugekehrt, ihr oberer von ihm weg nach der Tiefe des Raumes gerichtet wäre. Diese perspectivische Vorstellung wird noch plastischer,

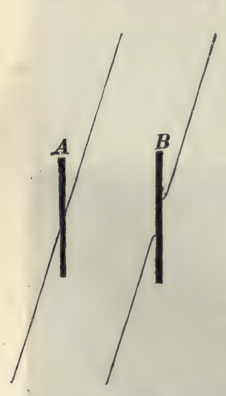


Fig. 263. Modificirte POGGENDORFF'sche Figur.

[1] Schon HELMHOLTZ (Physiologische Optik[2], S. 709) hat bemerkt, bei starrer Fixation verschwinde die ZOELLNER'sche Täuschung. Merkwürdiger Weise ist ihm aber die dann so frappant hervortretende perspective Vorstellung entgangen, zum Theil wohl weil er die Beobachtung an der hierfür ungünstigeren ursprünglichen Figur ZOELLNERS ausführte (HELMHOLTZ, a. a. O. Fig. 222), vielleicht aber auch, weil er nicht monocular fixirte.

wenn man irgend einen Punkt der Zeichnung monocular fixirt. In diesen Erscheinungen tritt die secundäre Bedeutung der perspectivischen Vorstellungen überzeugend hervor. So lange man die ganze Zeichnung auf die Ebene bezieht, tritt die Vergrößerung des spitzen Winkels als Knickung auf, da sich im weiteren Verlauf der schrägen Geraden deren wahre Richtung im Netzhautbilde geltend macht. Im Moment dagegen, wo man die Figur perspectivisch sieht, erscheint die Vergrößerung der Winkel als nothwendiger Bestandtheil der Tiefenvorstellung, die Knickung verschwindet daher, indem nun die Angleichung an das Netzhautbild durch die Verlegung der Winkel in eine nach der Tiefe des Raumes gerichtete Ebene eintritt[1].

Erweisen sich in allen diesen Erscheinungen die begleitenden perspectivischen Vorstellungen als secundäre Bestandtheile der Strecken- und Richtungstäuschungen, so liegt nun aber hierin nicht bloß ein Beweis dafür, dass jene Täuschungen nicht, wie man zuweilen geglaubt hat, selbst aus perspectivischen Vorstellungen abgeleitet werden können, die unsere Phantasie an die Wahrnehmung der Raumobjecte knüpft, sondern weiterhin auch dafür, dass irgend welche Veränderungen des Netzhautbildes, seien es dioptrische Verzerrungen, seien es Wirkungen der Netzhautkrümmung, nicht die Ursachen derselben sein können. Da die perspectivische Vorstellung, die sich mit einer bestimmten Täuschung verbindet, jedesmal so beschaffen ist, dass sie diese ihrer Richtung und Größe nach mit der Beschaffenheit eines normalen Netzhautbildes in Einklang bringt, so ergibt sich hieraus, dass das Netzhautbild selbst normal ist, und dass in diesem Sinne die Täuschung im Widerspruch mit demselben zu stande kommt und erst durch die secundär entstehende perspectivische Vorstellung dem Netzhautbild angeglichen wird. Aus jenem Widerspruch erklärt sich dann auch ebenso die unruhige Beschaffenheit mancher dieser Täuschungen, wie z. B. der ZOELLNER'schen Figur, wie das völlige Verschwinden dieser Unruhe, sobald sich die Perspective deutlich entwickelt hat. Dass diese vorzugsweise bei monocularem Sehen entsteht, begreift sich aber aus den, wie wir bald sehen werden, dem Binocularsehen eigenen directeren Hülfsmitteln der Tiefenvorstellung. Bei der Herstellung einer solchen Uebereinstimmung zwischen Netzhautbild und Größentäuschung handelt es sich endlich ebenso wenig wie bei der Bestimmung

[1] Allerdings kann man bei dem schwarzen Streifen der Fig. 263 auch an einen Einfluss der Irradiation denken, die wahrscheinlich die Täuschung begünstigt. Doch bleibt die letztere bestehen, wenn man statt des schwarzen Streifens je zwei einander parallele feine Linien auf weißem Grunde zeichnet, wo an Irradiation nicht wohl gedacht werden kann (vgl. Fig. 38, S. 123 meiner unten angef. Abhandl.). Ueberdies lässt sich die Aufhebung der scheinbaren Täuschung durch den Eintritt der perspectivischen Vorstellung zu der Irradiation als solcher in keinerlei Beziehung bringen.

der Richtung umkehrbarer Täuschungen um irgend welche intellectuelle Ueberlegungen, Urtheile u. dgl., sondern die perspectivische Vorstellung erscheint, ganz wie bei unseren gewöhnlichen Sinneswahrnehmungen, als ein unmittelbares associatives Product der Empfindungen. Insofern bei ihnen Associationen von Einfluss sind, fallen daher auch diese Erscheinungen in das Gebiet der später (in Abschn. V) zu betrachtenden simultanen Assimilationen.

Kann hiernach von »Urtheilstäuschungen«, oder von einem willkürlichen Schalten der »Einbildungskraft« und der »Aufmerksamkeit« nicht die Rede sein, so bleibt, nachdem eine Veränderung des Netzhautbildes durch den secundären Charakter der perspectivischen Hülfsvorstellungen ausgeschlossen ist, nur noch die Blickbewegung oder, bildlich ausgedrückt, das mit dem Netzhautbild überall zusammenwirkende »Bewegungsbild« des Auges übrig. An dieses zu denken liegt aber hier um so näher, als bereits die Bedingungen der umkehrbaren perspectivischen Täuschungen auf diese Quelle hinweisen. Nun pflegt man als ein allgemeines Kriterium für die Erklärung geometrisch-optischer Täuschungen aus Bewegungen des Auges nach dem Vorgang von HELMHOLTZ das folgende anzusehen: Täuschungen, die bei starrer Fixation verschwinden, werden muthmaßlich durch Bewegungen des Auges verursacht sein; solche, die bei der Fixation nicht verschwinden, können dagegen nicht auf jene zurückgeführt werden[1]. So plausibel jedoch dieses Princip auf den ersten Blick erscheinen mag, so kann ihm schon um deswillen keine Geltung zugeschrieben werden, weil Täuschungen, die bei starrer Fixation absolut verschwinden, in dieser Classe überhaupt nicht vorkommen. Sehr häufig ändern dieselben, wie uns z. B. die Beobachtungen an der ZOELLNER'schen und POGGENDORFF'schen Figur (S. 553 f.) lehrten, ihren Charakter; aber sie verschwinden niemals. In den angeführten Fällen tritt statt der Richtungs- die perspectivische Täuschung mehr hervor, und da durch die letztere die erstere ausgeglichen wird, so kann diese sogar günstigen Falls ganz zurücktreten; dann ist eben die perspectivische Täuschung an ihre Stelle getreten. In andern Fällen, wie z. B. bei den MÜLLER-LYER'schen Figuren (S. 550), geht aber diese Compensation niemals so weit, die Streckentäuschung verschwindet daher auch bei starrer Fixation nicht ganz; immerhin vermindert sie sich in dem Maße, als die perspectivische Vorstellung deutlicher hervortritt. Wenn demnach die Größentäuschung in diesem Falle beharrlicher ist, so dürfte dies damit zusammenhängen, dass die Perspective wegen des Mangels der sich scheinbar in die Tiefe erstreckenden Fixationslinien weniger ausgesprochen ist.

---

[1] HELMHOLTZ, Physiologische Optik[1], S. 566, [2] S. 709 ff.

Hängt aber das Verschwinden der Täuschungen nicht sowohl von ihnen selbst als vielmehr von der Leichtigkeit ab, mit der sie durch andere, compensirende Täuschungen ersetzt werden, so verliert das HELMHOLTZsche Kriterium überhaupt seine Geltung, um so mehr, da durchaus nicht einzusehen ist, warum die Einflüsse, die die Bewegungen des Auges etwa auf die Bildung unserer Vorstellungen ausüben, immer nur so lange dauern sollten, als diese Bewegungen unmittelbar vor sich gehen. Es muss daher nach andern Merkmalen gesucht werden, die über eine solche Betheiligung der Bewegungen entscheiden. Hier liegt es aber offenbar am nächsten, nicht einen abnormen Zustand bei der Auffassung der Formen, wie ein solcher jedenfalls die starre Fixation ist, sondern den normalen, der bei gewöhnlicher, ungezwungener Auffassung besteht, und bei dem regelmäßig zugleich der Charakter der Täuschungen am entschiedensten hervortritt, zu Grunde zu legen. Nun besitzen wir ein für extreme Bewegungen wohl nicht absolut sicheres, für weniger umfangreiche jedoch sehr brauchbares und namentlich bei vergleichenden Beobachtungen wegen der leicht möglichen Fehlerelimination unbedingt zuverlässiges Hülfsmittel für die bei der Auffassung räumlicher Strecken ausgeführten Augenbewegungen in der unmittelbaren Registrirung dieser Bewegungen. Eine solche lässt sich ausführen, wenn man eine dem individuellen Auge genau angepasste, an der Stelle der Pupille mit einer Oeffnung versehene Hülse auf das Auge aufsetzt und an dieser Hülse, auf einem kleinen Stiel sitzend, ein Spiegelchen anbringt, das einen Lichtpunkt auf eine entfernte Wand reflectirt[1]. An den Bewegungen dieses Lichtpunktes im halbverdunkelten Raum lassen sich dann sehr schön die

[1] ORSCHANSKY, Centralblatt für Physiologie, Bd. 12, 1899, S. 785. Aehnliche ophthalmographische Vorrichtungen haben zuvor schon DELABARRE (Amer. journ. of Psychol. vol. 9, 1897, p. 527) und HUEY (ebend. p. 583 und vol. 11, 1900, p. 283) zur objectiven Registrirung der Augenbewegungen angewandt. Auch hat DELABARRE bereits die oben erwähnten Unterschiede der Augenbewegungen an den MÜLLER-LYER'schen Figuren beobachtet (a. a. O. S. 573). Der von dem Mechaniker Oehmke in Berlin nach den Angaben von ORSCHANSKY angefertigte Apparat zeigt allerdings, wie Versuche im Leipziger psychologischen Laboratorium gezeigt haben, erhebliche Fehler, wenn man sich dabei der mechanischen Uebertragung und Registrirung am Kymographion bedient. Bei der oben erwähnten optischen Methode verschwinden dieselben jedoch für nicht allzu umfangreiche Bewegungen, wie sie hier allein in Frage kommen, vollständig, falls nur das künstliche Auge, nach dem die Hülse angefertigt wird, genau nach der individuellen Form des beobachtenden Auges ausgewählt ist. Ueberdies sind die Unterschiede in der Excursion der Bewegungen, um die es sich hier handelt, so groß, und sie liegen so constant in der Richtung der Täuschung, dass sie auf Ungenauigkeiten des Apparates, auch wenn diese größer wären als sie wirklich sind, nicht zurückgeführt werden könnten. Die sonst zur Beobachtung der Augenbewegungen benutzte Nachbildmethode, die zuerst von LAMANSKY (PFLÜGERS Archiv, Bd. 2, 1869, S. 418), und dann in verbesserten Formen neuerdings von GUILLERY (ebend. Bd. 73, 1898, S. 87), DODGE und CLINE (Psych. Rev. vol. 8, 1901, p. 145), A. BRÜCKNER (PFLÜGERS Archiv, Bd. 90, 1902, S. 73) angewandt wurde, ist bei der vorliegenden Frage ausgeschlossen, weil bei ihr die Richtung der Aufmerksamkeit auf das neben dem Object beobachtete Nachbild möglicher Weise die Resultate in der Richtung der Täuschung beeinflussen könnte.

Bewegungen des Auges verfolgen, während in der Nähe des Beobachters eine besondere Lichtquelle für die zu betrachtenden Objecte passend aufgestellt ist. Prüft man nun nach dieser Methode das Verhalten des Auges bei ungezwungener Auffassung der Objecte, so ergibt sich als durchaus constantes Resultat, dass bei den überschätzten Strecken die Blicklinie eine umfangreichere Bewegung ausführt als bei den unterschätzten. So ist beim Ueberlaufen der eingetheilten Linie ihr Weg länger als bei dem der continuirlich gezogenen, bei der rechts liegenden Fig. 258 erheblich größer als bei der links liegenden u. s. w. Die Winkeltäuschungen lassen sich natürlich auf dem gleichen Wege nicht direct prüfen. Wohl aber kehrt der nämliche Zusammenhang in dem analogen Fall der relativen Ueberschätzung kleiner im Verhältniss zu großen Strecken wieder, wo die eine kleinere Linie verfolgende Bewegung stets relativ zu groß ist. Nimmt man hierzu die nahe Beziehung gerade der Winkeltäuschungen zu den mit Sicherheit auf die Blickbewegung zurückzuführenden umkehrbaren Täuschungen, so kann wohl nicht mehr der leiseste Zweifel daran aufkommen, dass diese sämmtlichen Erscheinungen, die in der Existenz eindeutiger perspectivischer Nebenvorstellungen ihr nächstes äußeres Kriterium haben, mit der relativen Energie der zur Ausmessung der Strecken oder Richtungsunterschiede aufgewandten Blickbewegung zusammenhängen, und dass den perspectivischen Nebenvorstellungen dabei stets die Bedeutung einer associativen Ausgleichung zwischen dem nach der Bewegungsenergie bemessenen Bewegungsbild des Gegenstandes und dem auf optischem Wege entstandenen Netzhautbild zukommt.

3. Gegenüber den variabeln entziehen sich nun die constanten Strecken- und Richtungstäuschungen eben deshalb, weil sie für jedes individuelle Sehorgan einen constanten Werth haben, fast ganz der experimentellen Variation der Bedingungen. Daraus ergibt sich zugleich, dass wir hinsichtlich ihres Ursprungs im wesentlichen auf Vermuthungen angewiesen bleiben, die sich auf die Verhältnisse der Function selbst, sowie auf die bei den variabeln Täuschungen ermittelten Bedingungen stützen. Als die auffallendste constante Streckentäuschung gehört hierher die Ueberschätzung verticaler im Verhältniss zu gleich großen horizontalen Abständen. Will man nach dem Augenmaß eine regelmäßige Figur, z. B. ein Quadrat oder ein gleichschenkliges Kreuz, zeichnen, so macht man regelmäßig die verticale Dimension zu klein, und ein wirkliches Quadrat erscheint daher wie ein Rechteck, dessen Höhe größer ist als seine Basis[1]. Die Täuschung ist am größten, wenn man Punkt-

[1] Zuerst hat wohl OPPEL (Jahresber. des Frankfurter Vereins, 1854—1855, S. 37) auf diese in neuerer Zeit viel besprochene Erscheinung aufmerksam gemacht. Vgl. auch

distanzen vergleicht, wo ich sie bis auf $1/5$ sich erheben sah, indem einer verticalen Distanz von 20 eine horizontale von 25 mm gleich geschätzt wurde; sie ist kleiner bei der Vergleichung von Lineargrößen, und auch hier wechselt sie nach der Beschaffenheit der Figuren: ich finde sie z. B. an einem gleichschenkligen Kreuz oder an einem gleichschenkligen Dreieck von gleicher Höhe und Grundlinie größer als an einem Quadrate; sie verschwindet völlig beim Kreis. R. FISCHER fand sie beim Kreuz etwa $= 1/7$ (100:115), wenn die Länge der Kreuzarme 7 bis 30,8 mm betrug[1]. CHODIN fand den relativen Werth des Unterschieds außerdem abhängig von der absoluten Größe der Distanzen, mit der er zuerst rasch zunimmt, um dann annähernd constant zu bleiben. Es ergaben sich nämlich bei der Schätzung von Lineardistanzen folgende relative Unterschiede[2]:

bei	2,5	5	10	20	40	80	160 mm
	$1/61$	$1/36$	$1/20$	$1/15$	$1/12$	$1/9{,}5$	$1/12$

Der Grund der geringeren Abweichungen bei regulären geometrischen Figuren liegt wohl darin, dass wir bei ihnen die Unrichtigkeiten der Schätzung einigermaßen corrigiren gelernt haben. Ein derartiger Einfluss fällt am meisten hinweg bei der Schätzung von Punktdistanzen, bei denen wir daher vielleicht den ursprünglichen Unterschieden des Augenmaßes am nächsten kommen. Auf der Differenz zwischen der Schätzung linearer und leerer Distanzen dürfte auch der so verschiedene Eindruck beruhen, den ein aufrechtstehendes und ein um 90° gegen diese Lage gedrehtes Quadrat auf uns hervorbringt (Fig. 264 *A* u. *B*). Dabei lässt dann überdies die bedeutendere Größe der beiden Hauptdimensionen in *B* die ganze Figur größer erscheinen. Bei dem Kreis verschwindet die

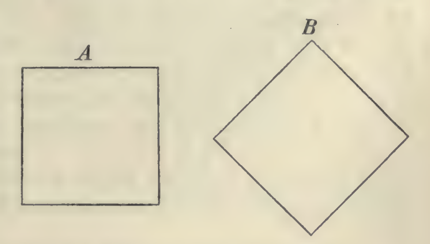


Fig. 264. Ueberschätzung verticaler linearer und Punktdistanzen.

meine Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, S. 158. Mit Unrecht hat HELMHOLTZ Versuche von FICK hierher bezogen, in denen derselbe ein kleines schwarzes Quadrat auf hellem Grunde abwechselnd in Höhe- und Breitedurchmesser vergrößert sah: sie sind offenbar auf die reguläre Meridianasymmetrie des Auges zurückzuführen, wie dies auch von FICK selbst geschehen ist. (FICK, Zeitschrift für rat. Medicin, 2. R. Bd. 2, S. 83. HELMHOLTZ, Physiologische Optik[1], S. 596, [2] S. 741.)

[1] R. FISCHER, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 37, 1, 1891, S. 102.

[2] CHODIN, ebend. Bd. 23, 1, 1877, S. 92.

Ungleichheit völlig, wahrscheinlich weil für die Auffassung desselben nicht sowohl die Durchmesser maßgebend sind als die überall gleichen Krümmungen der Peripherie. Auf dieser Verschiedenheit der Auffassungsbedingungen beruht es aber wohl weiterhin, dass der Flächeninhalt des Kreises unterschätzt wird im Verhältniss zu dem eines gleich großen Quadrates[1].

Aehnliche, jedoch viel geringere Täuschungen beobachtet man bei der Vergleichung solcher Entfernungen, von denen die eine im obern, die andere im untern Theil des Sehfeldes liegt: man überschätzt hier stets die obere Distanz. Sucht man also eine verticale gerade Linie nach dem Augenmaß zu halbiren, so macht man die obere Hälfte durchschnittlich um $^1/_{16}$ zu klein[2]. Diese Ueberschätzung macht sich vielleicht auch bei folgender Beobachtung geltend: ein S oder eine 8 in gewöhnlicher Druckschrift scheinen aus einer oberen und unteren Hälfte von beinahe gleicher Größe zu bestehen: stellt man aber beide Zeichen auf den Kopf: S, 8, so bemerkt man sofort die Verschiedenheit[3]. Ebenso finden sich bei der Ausmessung der äußern und innern Hälfte des Sehfeldes kleine Unterschiede, die aber nur bei einäugigem Sehen wahrnehmbar sind. Bei binocularer Betrachtung halbirt man nach dem Augenmaß eine horizontale Linie ziemlich genau in der Mitte; die kleinen Fehler, die begangen werden, weichen durchschnittlich ebenso oft nach der einen, wie nach der andern Richtung ab. Sobald man dagegen das eine Auge schließt, so ist man geneigt die äußere Hälfte, also für das rechte Auge die rechte, für das linke die linke zu klein zu machen. FISCHER fand bei verschiedenen Distanzen durchschnittlich an seinem rechten Auge das Verhältniss außen : innen = 113,15 : 116,21, an seinem linken 114,49 : 115,44[4]. KUNDT, der diesen Schätzungsfehler zuerst bemerkte, erhielt bei freilich nur einer Distanz (10 cm in 226 mm Entfernung) viel kleinere Werthe, nämlich 100 : 100,31 rechts, und 100 : 100,66 links[5].

Analoge constante Fehler treten endlich bei der Schätzung der Richtung von Linien und der Größe von Winkeln ein. Errichtet

---

[1] BOLTON, Amer. journ. of Psychol., vol. 9, 1897, p. 167. Ueber den Einfluss der Höhenüberschätzung bei Dreiecken vgl. R. SEYFERT, Philos. Stud. Bd. 18, 1902, S. 211.

[2] DELBOEUF, Note sur certaines illusions d'optique; Bulletins de l'acad. roy. de Belgique, 2. sér. t. 19, 2, p. 9.

[3] DELBOEUF, a. a. O. p. 6. Uebrigens ist diese Differenz weniger constant als die vorige. FISCHER (Archiv für Ophthalmologie, Bd. 37, 3, 1891, S. 55) unterschätzte sogar regelmäßig die obere Hälfte der Verticalen. Doch ist zu bemerken, dass FISCHERS Augen stark myopisch sind. MELLINGHOFF fand in Beobachtungen im Leipziger Laboratorium bei verschiedenen Individuen zwar die Größe der Täuschung wechselnd, ihre Richtung aber constant in dem von DELBOEUF beobachteten Sinne.

[4] FISCHER, a. a. O. S. 112.

[5] KUNDT, POGGENDORFFS Annalen, Bd. 120, S. 118.

man auf einer Horizontallinie eine genau senkrechte Gerade, so scheint dieselbe in einäugigem Sehen nicht vollkommen vertical zu liegen, sondern etwas nach oben und innen, also für das rechte Auge mit dem oberen Ende nach links, für das linke nach rechts geneigt zu sein. Der äußere Winkel, den die Verticale mit der Horizontalen macht, erscheint daher etwas größer, der innere etwas kleiner als 90°. In Versuchen VOLKMANNS betrug die Differenz durchschnittlich 1,307° für das linke, 0,82° für das rechte Auge[1]. DONDERS fand, dass die Neigung veränderlich ist und oft innerhalb kurzer Zeit bei normalen Augen zwischen 1 und 3 Winkelgraden variiren kann[2]. Auf diese Veränderungen ist nicht nur die Richtung der Blicklinien sondern auch die Richtung der Conturen im Sehfeld von Einfluss, da fortwährend das Streben besteht, eine leichte Incongruenz der

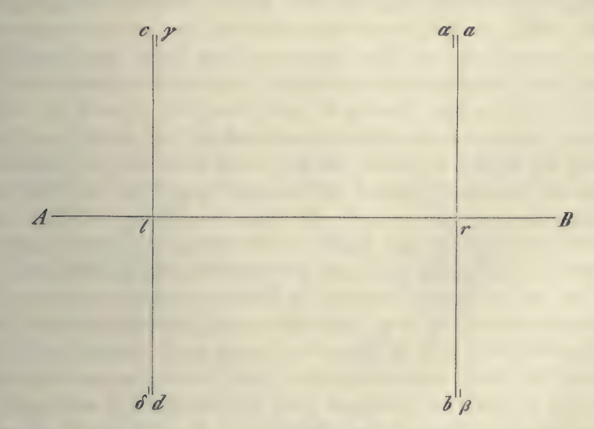


Fig. 265. Neigungen der scheinbaren Verticalen im rechten und linken Auge.

beiden Netzhautbilder durch schwache Rollbewegungen des Auges um die Blicklinien auszugleichen[3]. Eine unmittelbare Folge der angegebenen Täuschung ist es, dass, wenn man zu einer gegebenen Horizontalen eine Senkrechte nach dem Augenmaß zieht, diese eine mit ihrem obern Ende nach außen geneigte Lage hat. So ist in Fig. 265 *a b* die scheinbare Verticale für mein rechtes, *c d* für mein linkes Auge; die Richtungen der wirklichen zur Horizontallinie *A B* in *r* und *l* senkrecht stehenden

[1] VOLKMANN, Physiol. Untersuchungen im Gebiete der Optik. Bd. 2, S. 224.
[2] DONDERS, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 21, 3, 1875, S. 100 f.
[3] Vgl. unten Nr. 5.

Geraden ist durch die kurzen Striche $\alpha\beta$ und $\gamma\delta$ angedeutet. Bei binocularer Betrachtung verschwindet die Täuschung, ähnlich derjenigen über die Halbirung einer horizontalen Entfernung, oder es bleiben höchstens sehr kleine Abweichungen.

Um über den Ursprung dieser verschiedenen constanten Täuschungen Rechenschaft zu geben, ist es wohl am zweckmäßigsten, von der zuletzt beschriebenen Richtungstäuschung auszugehen, weil bei ihr der Zusammenhang mit gewissen functionellen Verhältnissen am deutlichsten zu sein scheint. Schon JOHANNES MÜLLER hat beobachtet, dass, wenn man beide Augen zwanglos, ohne Fixation eines bestimmten Punktes, auf- und abwärts bewegt, die Hebung der Visirebene unwillkürlich mit verminderter, die Senkung mit vermehrter Convergenz der Blicklinien verbunden ist. Diese Aenderung entspricht aber den allgemeinen Bedingungen des Sehens, vermöge deren sich unsere Blicklinien im allgemeinen beim Blick nach aufwärts auf fern liegende, beim Blick nach abwärts auf nahe liegende Gegenstände einstellen. Wollen wir also den Blick in verticaler Richtung von oben nach unten bewegen, so wird er dabei unwillkürlich etwas nach innen abgelenkt, und, wie wir oben (S. 526) sahen, ist schon die Muskelanordnung des Auges auf diese Bevorzugung der Convergenz bei abwärts gekehrter Blickrichtung angelegt, oder, wie wir es wohl angemessener ausdrücken, die Muskelanordnung hat sich als ein nothwendiges Product der Function so entwickelt. Demgemäß wird dann diese zwangloseste Auf- und Abwärtsbewegung als diejenige aufgefasst, die der verticalen Richtung im Sehfeld entspricht, und eine wirkliche Verticallinie muss nun nach der entgegengesetzten Seite geneigt erscheinen. Zudem gibt es einen bestimmten Fall, wo das Auge, wenn es eine im Blickfeld verticale Gerade fixirend von oben nach unten verfolgen will, in der That jene schwache Einwärtsdrehung ausführen muss, dann nämlich, wenn das ebene Blickfeld auf einer abwärts geneigten Richtung der Gesichtslinie senkrecht steht, d. h. wenn die Gerade mit ihrem oberen Ende vom Beobachter weggeneigt ist. Dieser Fall entspricht aber der Primärstellung. So steht diese Täuschung einerseits mit den normalen, durch die Bedürfnisse des Sehens bestimmten Augenbewegungen, anderseits mit der in den nämlichen Bedürfnissen begründeten Lage der Primärstellung in nicht zu verkennendem Zusammenhang.

Von den hier gewonnenen Gesichtspunkten aus ergibt sich dann für die analogen Streckentäuschungen, insbesondere für die auffallendste unter ihnen, die Ueberschätzung der Verticaldimension, eine doppelte Möglichkeit: sie können optischen oder motorischen Ursprungs, in Abweichungen des Netzhautbildes oder in solchen des »Bewegungsbildes« in dem oben (S. 556) gebrauchten bildlichen Sinne begründet sein, sofern man

wohl auch in diesem Fall auf das Spiel der »Einbildungskraft«, auf »Urtheilstäuschungen« und ähnliche angeblich psychologische Interpretationen von vornherein verzichten wird. Nun lassen sich optische Abweichungen hier nicht verwerthen, da ihnen gerade das fehlt, was die vorliegenden Erscheinungen in erster Linie kennzeichnet: die Constanz. Der Astigmatismus, an den man allenfalls denken könnte, kommt in jeder Richtung vor; er müsste also eine wechselnde Richtung der Täuschungen, und er könnte niemals bei einem optisch normalen Auge so erhebliche Schätzungsunterschiede hervorbringen. Sobald man nun aber, wie das auf Grund der Untersuchung der umkehrbaren und der variabeln Täuschungen geschehen muss, dem Begriff des »Bewegungsbildes« neben dem des Netzhautbildes sein Recht einräumt, so werden von vornherein ebenso gut irgend welche Abweichungen in der Beschaffenheit des ersteren zu erwarten sein, wie solche in der des letzteren vorkommen. Wie einige der hauptsächlichsten unter den dioptrischen Täuschungen durch den asymmetrischen optischen Bau des Auges bedingt sind, so ist dann auch zu erwarten, dass die asymmetrische Anordnung des an den Functionen des Sehens betheiligten Muskelapparates nicht ohne Einfluss auf das Bewegungsbild und damit auf das resultirende Wahrnehmungsbild sein werde. In der That gibt es eine constante Täuschung, die auf eine solche Deutung unmittelbar hinzuweisen scheint, insofern sie eine durchaus dem regulären Astigmatismus analoge Erscheinung ist, dabei aber gleichwohl auf diesen selbst, wie oben bemerkt, nicht zurückgeführt werden kann: das ist eben jene regelmäßige Ueberschätzung verticaler gegenüber horizontalen Distanzen oder der Verticaldimension aus geraden Linien zusammengesetzter Figuren gegenüber ihrer Horizontaldimension. Von den umkehrbaren und den variabeln Täuschungen scheidet diese Täuschung ihre, dem allgemeinen Verhalten psychophysischer Constanten entsprechende individuelle Constanz und die verhältnissmäßig nur unerhebliche Breite der Schwankungen bei verschiedenen Individuen. Dazu kommt dann das gänzliche Fehlen perspectivischer Nebenvorstellungen, das sich leicht daraus erklärt, dass wegen dieser Constanz eine Anpassung des Bewegungsbildes an das Netzhautbild, wie es bei den variabeln Täuschungen durch die Veränderlichkeit der Bedingungen gefordert ist, hier hinwegfällt, indem sich in diesem Falle ein für allemal Netzhaut- und Bewegungsbild zu einem Wahrnehmungsbilde vereinigt haben, das die constanten Beziehungen beider Componenten zum Ausdruck bringt. Mit dieser Deutung stimmt die physiologische Thatsache überein, dass der Bewegungsapparat des Auges in Bezug auf die Anordnung der das Auge nach auf- und abwärts und nach außen und innen bewegenden Muskeln die größten Abweichungen zeigt, und zwar in dem Sinne, dass, in Folge

der partiellen Gegenwirkung der Energien der Recti und der Obliqui, bei der Auf- und Abwärtsbewegung ein größerer Aufwand von Muskelenergie zur Erzeugung einer Drehung von gleichem Umfange erforderlich ist, als bei der Aus- und Einwärtsbewegung. Entsprechend werden wir dann die kleineren constanten Streckentäuschungen in Bezug auf oben und unten, außen und innen, die in der Regel in dem Sinne stattfinden, dass nach auf- und auswärts gehende Raumstrecken überschätzt werden im Vergleich mit solchen, die nach abwärts und nach einwärts gehen, auf analoge kleinere Asymmetrien der motorischen Functionen beziehen können, um so mehr, da auch sie ihrer Richtung nach den functionellen Bedingungen entsprechen. Denn vermöge eben jener Anlage zu einem »Convergenzmechanismus«, der die Primärstellung ihren Vorzug verdankt, ist auch die Abwärts- gegenüber der Aufwärts- und die Einwärts- gegenüber der Auswärtsbewegung bevorzugt, indem die Blicklinien in Folge der gewohnheitsmäßigen Beschaffenheit und Lage der Gesichtsobjecte vorzugsweise in der Einstellung auf abwärts gelegene nahe Fixirpunkte geübt sind.

4. Gegenüber den bisher erörterten, sämmtlich auf den Mechanismus der Augenbewegungen und seine Innervation zurückführenden Erscheinungen nimmt die letzte Gruppe der geometrisch-optischen Täuschungen, die der Associationstäuschungen, insofern eine Ausnahmestellung ein, als bei ihr bestimmte Einflüsse des äußeren Bewegungsmechanismus, ebenso wie die mit ihnen zusammenhängenden functionellen Verhältnisse, ausgeschlossen sind, und dagegen weit verbreitete associative Wirkungen, die nur die dem Sinnesgebiet entsprechenden Formen annehmen, deutlich als die maßgebenden Factoren hervortreten. Sofern physiologische Bedingungen auch hier im Spiele sind, kann es sich also jedenfalls nicht um solche von relativ peripherer Natur, sondern allein um centrale handeln, für die wir eine andere als die psychologische Interpretation zunächst nicht besitzen. Stehen diese Erscheinungen demnach unter den übrigen Täuschungen des Augenmaßes einigermaßen isolirt da, so sind sie es aber um so weniger innerhalb der normalen Sinnestäuschungen überhaupt, wie sie uns auch in andern Sinnesgebieten begegnet sind. Insbesondere die associativen Gewichtstäuschungen (S. 24), der Aristotelische Tastversuch (S. 462), und theilweise selbst gewisse dem Florcontrast zufallende Erscheinungen (S. 257) können als mehr oder minder analoge Fälle hierher gezählt werden. Ueberdies nähern sich durch die starke Betheiligung associativer Factoren die umkehrbaren perspectivischen Täuschungen. Aus demselben Grunde wie bei diesen muss daher auch bei den Associationstäuschungen die nähere Erörterung dem Capitel über die Associationen vorbehalten bleiben. Hier sei vorläufig nur

je ein Beispiel für jede der Hauptformen von Associationswirkung angeführt, die innerhalb dieser Gruppe vorkommen. Ich wähle die Beispiele zugleich so, dass sie an sonst übereinstimmenden Objecten je nach den gesetzten Associationsbedingungen in abweichendem Sinne auftreten. Die erste, seltenere Grundform ist die der associativen Angleichung. Die beiden weißen Sectoren *A* und *B* der Fig. 266 sind von gleicher Größe: der von den breiteren schwarzen Sectoren begrenzte in *A* erscheint aber größer, der von den schmäleren begrenzte in *B* kleiner, indem jeder den ihm benachbarten Objecten von gleicher Gestalt und wenig verschiedener Größe angeglichen wird. Die entgegengesetzte Wirkung, den associativen Contrast, zeigt die Fig. 267. Auch hier sind beidemal die mittleren

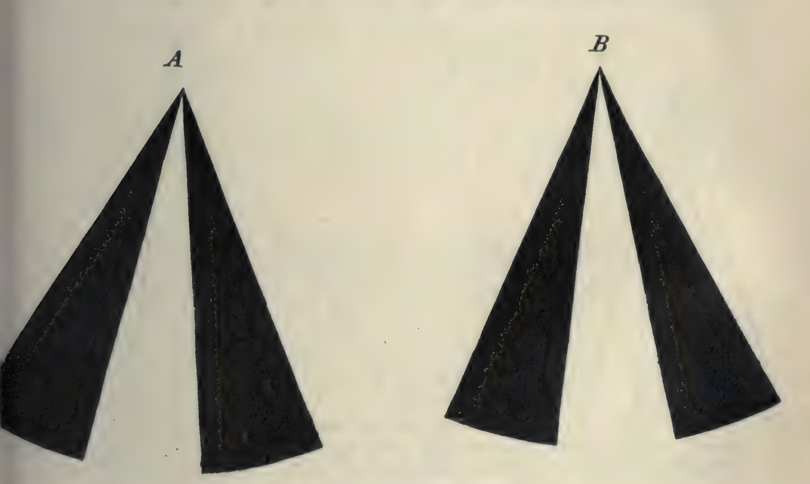


Fig. 266. Associative Angleichung.

Sectoren von gleicher Größe. Aber in *A* bilden zwei weit schmälere, in *B* zwei viel breitere die Umgebung: jetzt, wo der Unterschied zu groß ist, um Angleichung zuzulassen, erscheint der mittlere Sector in *A* verbreitert, in *B* verschmälert. Den Nachweis, dass es sich hier wirklich um rein associative Täuschungen, nicht um irgend welche dioptrische oder motorische Wirkungen handelt, werden wir später (in Abschn. V) durch Variation der Bedingungen dieser Versuche bringen. Hier sei auf diese Erscheinungen nur einstweilen als auf solche hingewiesen, die nicht nur ähnlichen Täuschungen auf anderen Gebieten entsprechen, sondern auch, wie dies ja übrigens schon bei den perspectivischen

Täuschungen, besonders den umkehrbaren der Fall ist, auf den Zusammenhang der momentanen Functionen mit den Vorerlebnissen des Bewusstseins hinweisen.

Eine Gesammterklärung der geometrisch-optischen Täuschungen kann nun naturgemäß, da sie unvermeidlich mitten hinein in das psychologische Raumproblem selbst führt, erst im Zusammenhang mit der allgemeinen Theorie der Gesichtsvorstellungen versucht werden. Nur auf ein negatives und auf ein positives Resultat sei daher einstweilen hingewiesen, die sich den obigen Ergebnissen ohne weiteres entnehmen lassen, und die zugleich wichtige leitende Gesichtspunkte für jene Theorie



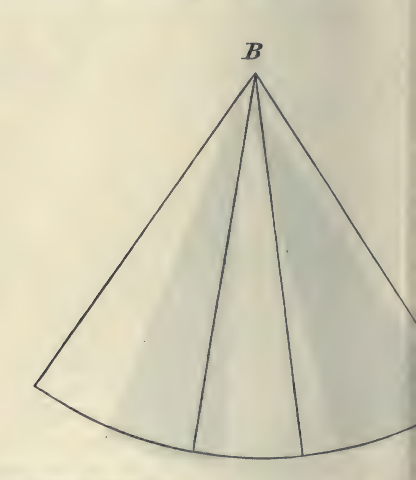


Fig. 267. Associativer Contrast.

abgeben. Erstens: ein willkürliches Spiel der sogenannten Einbildungskraft, Urtheilstäuschungen und ähnliche willkürliche oder zufällige Einflüsse sind, ebenso gut wie dioptrische Abnormitäten und sogenannte retinale Energien, Verlegenheitshypothesen, die, an sich psychologisch unhaltbar, einer eindringenden Untersuchung nirgends stand halten. Vor allem das bei den angeblich psychologischen Deutungen angenommene willkürliche Spiel der Phantasie oder einer durch Trugmotive irregeleiteten Reflexion macht bei näherem Zusehen überall einer strengen Gesetzmäßigkeit Platz, die selbst da herrscht, wo auf den ersten Anschein, wie bei den umkehrbaren Täuschungen, der wechselnde Charakter der Erscheinungen

am ehesten eine solche Vermuthung unterstützen könnte. Zweitens: alle diese normalen Täuschungen des Augenmaßes weisen auf ein Zusammenwirken der optischen und motorischen Functionen des Auges hin, das die ausschließliche Berücksichtigung eines dieser Factoren als eine unzulässige Abstraction erscheinen lässt. Die Function des Bewegungsmechanismus bildet einen ebenso integrirenden Bestandtheil der Raumfunctionen des Auges wie die des optischen Apparates und der ihm zugeordneten retinalen Organisation. Nicht nur das Zusammenwirken beider Factoren, sondern auch die vielfach hervortretende Verbindung derselben mit associativen Einflüssen, die auf die Nachwirkung vorangegangener Eindrücke hinweisen, folgen aber überall festen Gesetzen. In diesem Sinne ist der Begriff der »Täuschung« selbst ein täuschender Begriff, der auf die Auffassung der Erscheinungen nicht selten verwirrend gewirkt hat, indem er der Anlass wurde, dass man den bei der Vergleichung der Vorstellung mit dem Object relativ berechtigten Ausdruck auf den Wahrnehmungsvorgang übertrug und so sich in jenes Labyrinth von »Urtheilstäuschungen« und »Einbildungen« verirrte, das die Theorie der geometrisch-optischen Täuschungen vielfach zu einem Tummelplatz bodenloser Hypothesen gemacht hat.

Seit Jul. Oppel als der Erste eine Anzahl der oben erörterten und von ihm mit dem Namen »geometrisch-optische Täuschungen« belegten Erscheinungen beschrieb[1], und seit in vereinzelten Beobachtungen und in zusammenhängenden Arbeiten namentlich im Verlauf der letzten Jahre die früher mehr sporadischen Beobachtungen vielfach durch planmäßigere Untersuchungen abgelöst wurden, hat sich auf diesem Gebiet eine solche Fülle von Beobachtungen angesammelt, dass an eine irgend erschöpfende Schilderung derselben hier nicht gedacht werden kann. Auch würde eine solche nur in einer Wiederholung der Hauptmotive bestehen können, die in den oben angeführten Beispielen vorkommen. Doch mögen jenen typischen Beispielen hier noch einige weitere folgen, die theils auf die Bedingungen der Erscheinungen Licht werfen, theils durch die bei ihnen obwaltende Mischung verschiedener Motive charakteristisch sind. Zugleich sei bemerkt, dass die wirksamste Methode zur Erzeugung namentlich der variablen Strecken- und Winkeltäuschungen darin besteht, dass man sie, ähnlich wie die umkehrbaren perspectivischen Täuschungen (S. 546), im verdunkelten Raum vor den Augen des Zuschauers durch Projection mit dem Skioptikon entstehen lässt. Zu diesem Zwecke ritzt man die Täuschungsfigur in den Beleg einer gewöhnlichen Spiegelglasplatte ein und bringt an der letzteren zugleich einen Schieber an, welcher in einer bestimmten Stellung die die Täuschung erweckenden Theile der Figur verdeckt und in einer andern sie sichtbar macht. Man wirft also z. B. bei der Zoellner'schen Figur zunächst nur die langen parallelen Linien an die Wand, dann lässt man

[1] Oppel. Jahresber. des physik. Vereins zu Frankfurt a. M. 1854—55, S. 37, 1856—57, S. 47, 1860—61, S. 26.

plötzlich die kleinen Querlinien hinzutreten: der Effect der Richtungsänderung der langen Linien tritt dann höchst überraschend hervor. Oder bei den Müller-Lyer'schen Figuren entwirft man zuerst nur die beiden Geraden, und lässt dann die schrägen Ansatzstücke plötzlich hinzutreten, hierauf vertauscht man die letzteren, wobei nun die abwechselnden scheinbaren Verlängerungen und Verkürzungen der beiden Geraden ein ergötzliches Schauspiel bieten.

Die Fig. 268 zeigt zunächst einige beachtenswerthe Modificationen der Müller-Lyer'schen Täuschung (Fig. 258, S. 550). Diese vermindert sich, wie

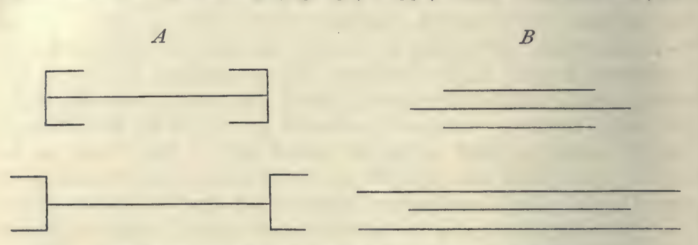


Fig. 268. Modificationen der Müller-Lyer'schen Täuschung.

man sieht, aber sie hört keineswegs ganz auf, wenn die Gerade nicht selbst in die vorwärts oder rückwärts gekehrten Endlinien übergeht, sondern sie dauert fort, so lange diese nur, wie in *B*, hinreichend benachbart sind, um eine gewisse Wirkung auf die Blickbewegung ausüben zu können[1]. Den nämlichen

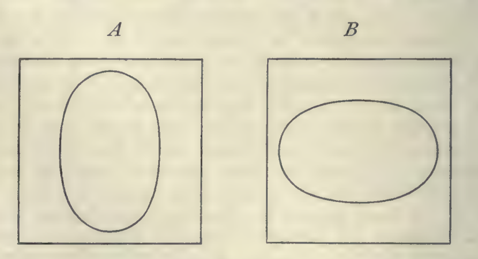


Fig. 269. Streckentäuschungen durch die Wirkung eingezeichneter Figuren.

Einfluss benachbarter Objecte zeigt auch die Fig. 269. Von den zwei einander gleichen Quadraten erscheint das mit der eingezeichneten verticalen Ellipse in

[1] Hieraus geht hervor, dass die Müller-Lyer'sche Täuschung nicht, wie F. Brentano (Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane, Bd. 3, S. 349 ff.) meinte, aus den oben (S. 551) erörterten Winkeltäuschungen abgeleitet werden kann. Eine Discussion über denselben Gegenstand zwischen Lipps und Brentano vgl. ebend. Bd. 3, S. 498, und Bd. 5, S. 61 ff. Verschiedene, die Hypothese Brentanos widerlegende Beispiele theilt auch Delboeuf mit (Bulletin de l'Acad. roy. de Belgique, 3. sér. t. 24, no. 12, 1892).

die Höhe gezogen, das mit der quergestellten, im Conflict mit der constanten Ueberschätzung der verticalen Dimension, verbreitert. Wie hier durch die eingezeichneten Ellipsen, so wird in Fig. 270 durch die Eintheilung der Flächenräume eines Quadrates die Ueberschätzung der Verticaldimension in *A* gesteigert, in *B* vermindert oder aufgehoben[1]. Eine schräge Line *a b*, die man durch *B* zieht, erscheint an der Ein- und Austrittsstelle etwas geknickt, indem wegen der Verbreiterung die schräge Richtung der Geraden innerhalb der Figur vermindert erscheinen muss.

Aehnlich können die Motive der Winkeltäuschungen, wie sie in einfachster Form die Fig. 259, in zusammengesetzter Fig. 260—262 zeigen, in mannigfachster Weise wiederkehren. In Fig. 271 treten diese Motive gewissermaßen latent auf. Die über einander beschriebenen, einander objectiv gleichenden Kreisbogen erscheinen nicht ganz gleich, sondern die unteren kleiner als die oberen. Zugleich ist man geneigt

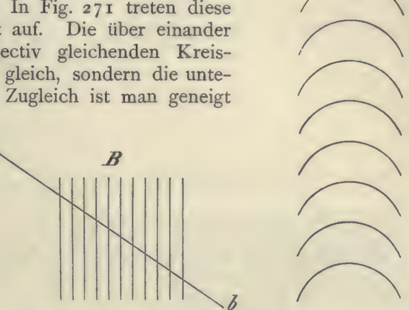


Fig. 270. Steigerung und Aufhebung der constanten Streckentäuschungen durch Eintheilung der Figuren.

Fig. 271. Perspectivische Kreistäuschung.

die Figur im entsprechenden Sinne perspectivisch zu sehen, indem die oberen Bogen vom Beschauer weiter entfernt scheinen als die unteren. Die Täuschung hängt damit zusammen, dass die Endpunkte der Bogen auf jeder Seite derart in einer verticalen geraden Linie liegen, dass, wenn man sich beide Gerade gezogen denkt, dieselben zu einander parallel sind. Dabei bilden nun aber die Bogen beiderseits mit ihrer Convexität spitze Winkel mit diesen Richtungslinien: in Folge dessen erscheinen die letzteren nach Maßgabe der in Fig. 259

[1] Eine analoge durch den Einfluss der Umgebung erzeugte Täuschung ist auch die folgende: Die Buchstaben dieser Anmerkung scheinen größer zu sein als die der vorigen. Gleichwohl sind absichtlich beide mit den nämlichen Typen gedruckt und unterscheiden sich nur dadurch, dass die Zwischenräume der Zeilen hier größer sind als dort. Indem also das Auge die gleiche Anzahl Buchstaben auf kürzerem Wege überfliegt, erscheinen ihm auch die einzelnen kleiner. Nimmt man statt der Quadrate in Fig. 269 Kreise als umschließende Figuren, so kehrt sich übrigens die Täuschung um: der Kreis mit der vertical gestellten Ellipse erscheint nun in horizontaler, der mit der horizontal gestellten in verticaler Richtung verlängert. Dies beruht darauf, dass in diesem Fall an den Stellen, wo Kreis und Ellipse divergirende Linien bilden, die Divergenz vergrößert erscheint, entsprechend der Vergrößerung spitzer Winkel.

dargestellten Täuschungen nach oben divergirend, was die scheinbare Vergrößerung der oberen Bogen und damit die perspectivische Nebenvorstellung hervorbringt. Von hier ausgehend ergibt sich nun auch die Interpretation der in Fig. 272 dargestellten Täuschung. Die beiden über einander gezeichneten Trapeze sind objectiv gleich, erscheinen aber ungleich, das obere größer als das untere, und dem entsprechend erscheint, namentlich bei starrer monocularer Fixation, das untere näher als das obere. Man sieht aber sofort, dass hier die über einander liegenden Punkte *A* und *a*, *C* und *c* u. s. w. als zugehörig

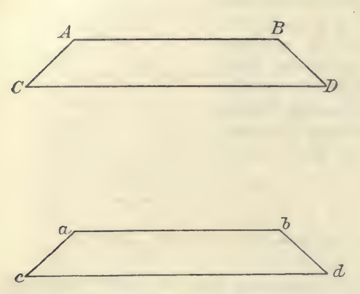


Fig. 272. MÜLLER-LYERS Trapezfiguren.

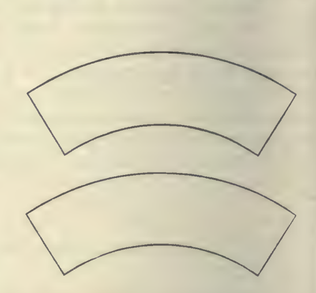


Fig. 273. Die Trapeztäuschung übertragen auf Kreissegmente.

zu Richtlinien aufgefasst werden, die, ähnlich wie die in Fig. 271 die Endpunkte der Bogen verbindenden, wegen der spitzen Winkel, welche die schrägen Linien *A C* und *a c*, *B D* und *b d* mit ihnen bilden, nach oben divergirend erscheinen. Die Täuschung wird noch viel bedeutender, wenn man, wie in Fig. 273, statt der Trapeze Kreissegmente von congruenter Form wählt. Wahrscheinlich wird sie hierbei durch ein Associationsmotiv verstärkt, indem man geneigt ist, beide Segmente als zugehörig zu einem einzigen Kreis aufzufassen, wo dann das obere Segment einem sehr viel kleineren Sector dieses Kreises entsprechen würde als das untere.

In Concurrenz mit der Ueberschätzung getheilter Größen wirkt ferner das Winkelmotiv bei der Theilung von Winkeln. So hält man von den zwei rechten Winkeln in Fig. 274 den eingetheilten für größer als den nicht eingetheilten; auch erscheint die Horizontallinie in ihrer Mitte etwas geknickt, so als wenn beide Winkel zusammen größer als 180° wären. Eine interessante Combination verschiedener Täuschungsmotive bietet endlich die POGGENDORFF'sche Figur in ihren verschiedenen Modificationen, deren eine wir bereits oben (Fig. 263, S. 554) kennen lernten. Die Fig. 275 *A* zeigt sie in ihrer ursprünglichen Gestalt. Man hält nicht *b*, sondern *c* für die Fortsetzung von *a*, obgleich *b* die wirkliche Fortsetzung und *c* parallel nach oben verschoben ist. In ähnlicher Weise scheinen in *B* die drei Stücke der Geraden *a b* Bruchstücke verschiedener, einander paralleler Linien zu sein. Da uns in beiden

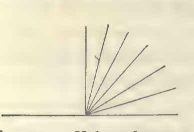


Fig. 274. Ueberschätzung eingetheilter Winkel.

Fällen in verticaler Richtung Fixationslinien geboten sind, während in horizontaler solche fehlen, so schätzen wir die verticale Dimension zu groß, eine Täuschung, die durch die regelmäßige Ueberschätzung der Höhendistanzen noch verstärkt wird. Sie vermindert sich daher bedeutend, wenn man die Figur um 90° dreht. Sie verschwindet aber auch dann nicht ganz. Der jetzt übrig bleibende Theil derselben erklärt sich theils aus dem zurückbleibenden

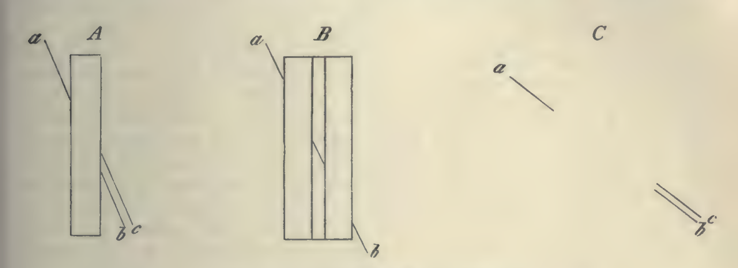


Fig. 275. POGGENDORFF'sche Figuren.

Einfluss der Fixationslinien theils aus der Ueberschätzung spitzer Winkel, welches letztere Motiv bei der in Fig. 263 gezeichneten Modification allein zurückgeblieben ist. Dass die constante Ueberschätzung der verticalen Dimension mitwirkt, zeigt außerdem die Fig. *C*. Hier sind *a* und *b* zwei Bruchstücke einer schräg gezogenen geraden Linie. Diese erscheinen aber im nämlichen Sinne, nur unbedeutender, gegen einander verschoben wie im vorigen Fall, und eine etwas höher liegende Gerade *c* ist die scheinbare Fortsetzung von *a*. Eine Umkehrung der Täuschung durch Aufhebung dieses Motivs zeigt endlich die Fig. 276. Hier sind die Flächenräume *A* und *B* einander gleich, aber in *A*

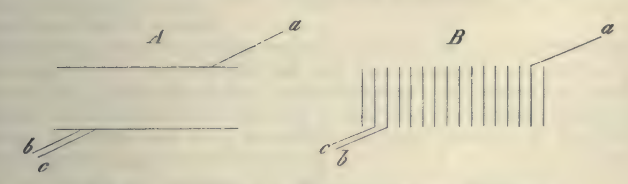


Fig. 276. Umkehrung der POGGENDORFF'schen Täuschung.

ist der Raum von zwei Horizontallinien begrenzt, in *B* von einer Menge einander paralleler Verticallinien ausgefüllt. In *A* sieht man die gewöhnliche Form der Täuschung: die Fortsetzung *b* der Linie *a* erscheint nach *c* verschoben; in *B* liegt *c* auf der entgegengesetzten Seite: hier ist also durch die Verbreiterung der Figur, die durch die parallelen Verticallinien eintritt, die scheinbare Fortsetzung von der wirklichen in horizontaler statt in verticaler Richtung entfernt worden. Sehr deutlich zeigt sich auch die Wirkung vereinigter Motive von Strecken- und Winkeltäuschungen in Fig. 277 *A* und *B*. Da man

in *A* die spitzen Winkel, welche die Seiten des eingeschriebenen Quadrats mit den Kreisbogen bilden, zu groß sieht, so erscheint jeder der vier Kreisbogen stärker gekrümmt, so als ob er einem Kreis von kleinerem Halbmesser angehörte, und die Seiten des Quadrats scheinen ein wenig nach einwärts gebogen. In *B*, wo die Ueberschätzung der Verticaldimension durch die entgegengesetzte Lage des Quadrats gesteigert wird (S. 559), verstärkt sich die

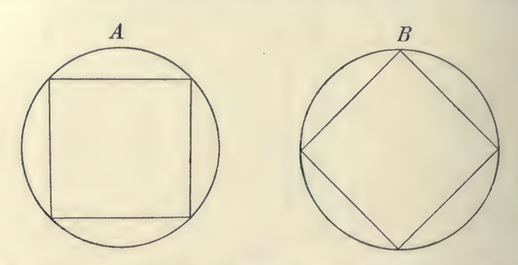


Fig. 277. Täuschungen durch eingezeichnete Quadrate im Kreise.

Täuschung, so dass man den Kreis kaum mehr als Kreis, sondern als ein an den Enden der Durchmesser etwas abgeplattetes Oval sieht.

Schließlich sei hier noch einiger Täuschungen gedacht, bei denen, ähnlich wie bei den Kreissegmenten der Fig. 273, wahrscheinlich variable, in den Blickbewegungen begründete mit associativen Einflüssen zusammenwirken. In Fig. 278 sind nahe über einander zwei Parallellinien gezogen, mit einer frei gelassenen mittleren Strecke, in welcher in der Richtung der unteren Parallelen einige Punkte angebracht sind. Diese Punkte erscheinen nach oben verschoben, als gehörten sie einer dritten, zwischen beiden gelegenen Parallelen an. Einerseits mag hier die Blickbewegung beim Zurücklegen des durch die Punkte vorgezeichneten Weges gleichzeitig durch die obere und untere Gerade attrahirt werden und so die Lage der Punkte mit der mittleren Blickrichtung in Einklang bringen. Außerdem kann man aber auch eine associative Angleichung, analog der in Fig. 266 dargestellten, vermuthen. Eine andere, gleichzeitig wohl auf Blickbewegung und Association hinweisende Täuschung zeigt die Fig. 279. Obgleich die Distanz zwischen den oberen und den unteren Parallellinien die gleiche ist, so ist man doch geneigt, die Höhendistanz der kürzeren Linien für größer zu halten als die der längeren. Hier wird durch die ausgedehntere Blickbewegung wahrscheinlich eine relative Ueberschätzung der Breite- gegenüber der Höhendimension bei der unteren Figur

Fig. 278. MELLINGHOFF'sche Täuschung.

Fig. 279. Täuschung über den Abstand von Parallelen.

unterstützt. Daneben wirkt aber wohl ein associativer Contrast ein, analog dem in Fig. 267 dargestellten, indem in dem Maße, als die Breite der oberen Linien im Contrast zu den unteren unterschätzt wird, um so mehr ihre Höhendistanz relativ zu groß erscheint. Ein auffallendes Beispiel ähnlicher Art bietet endlich noch die Fig. 280, wo in *A* der innere Kreis größer erscheint, als der ihm gleiche isolirte Kreis *C*, der äußere dagegen kleiner als der gleiche Kreis *B*. Auch hier darf man annehmen, dass durch die Bewegung des Blicks in der Richtung der einander parallelen Kreisperipherien die Distanz der concentrischen Kreise in *A* unterschätzt wird. Indem dadurch beide einander genähert werden, verkleinert sich der äußere und vergrößert sich der innere Kreis. Daneben erscheint aber wahrscheinlich wiederum durch einen dem in Fig. 267 dargestellten ähnlichen Contrast der Durchmesser des inneren Kreises im Verhältniss zum geradlinigen Abstand der beiden Kreisperipherien größer. Die nämliche Täuschung beobachtet man bei allen in ähnlicher Weise gezeichneten concentrischen Figuren, z. B. Dreiecken, Quadraten u. s. w. Bringt man aber im Mittelpunkt einer solchen concentrischen Figur, z. B. der Kreise in *A* (Fig. 280) eine Marke an, die einen gewissen Zwang zur Fixation ausübt (einen deutlich sichtbaren schwarzen Punkt oder einen Buchstaben, ein Fragezeichen u. dergl.), so verschwindet die Täuschung. Begreiflicher Weise kann es gerade in solchen Fällen, wo man es mit Täuschungen zu thun hat, die aus Associations- und andern Motiven gemischt sind, sehr schwer fallen zu entscheiden, was dem einen oder andern Einflusse zuzurechnen sei, da hier nicht, wie bei dem Ineinandergreifen mehr übereinstimmender Ursachen, wie z. B. bei der POGGENDORFF'schen Täuschung, die einzelnen Factoren bis zu einem gewissen Grade isolirt werden können. Im allgemeinen wird man aber wohl auch hier daran festhalten dürfen, dass eine Vermischung mannigfaltiger Bedingungen bei diesen doch schon relativ complexen Erscheinungen wahrscheinlicher ist als eine einfache Entstehungsweise, und dass, wo in andern Fällen ohne Complication der Bedingungen eine bestimmte Ursache mit Sicherheit nachzuweisen ist, diese auch da vorausgesetzt werden darf, wo sie aus ihrem Zusammenwirken mit andern Bedingungen nicht isolirt werden kann.

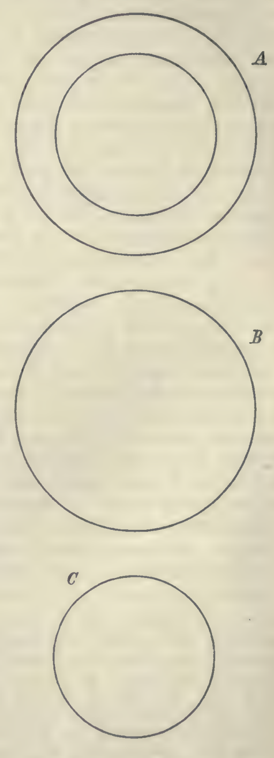


Fig. 280. Kreistäuschungen.

So wenig nach allem dem noch ein Zweifel darüber bestehen dürfte, dass die unter dem Namen der »geometrisch-optischen Täuschungen« bekannten Abweichungen des Augenmaßes schließlich auf einige Grundtypen zurückzuführen sind, so weit entfernen sich doch vielfach noch immer die hypothetischen Interpretationen dieser Täuschungen. Zuweilen wird der vage Begriff der »Urtheilstäuschung«, ähnlich wie er bei den Licht- und Farbencontrasten eine Rolle spielt (S. 253 f.), so auch hier herangezogen, wobei dann meist die Reflexionen und Urtheile, die die Täuschungen zu stande bringen sollen, von Fall zu Fall wechseln, durchweg aber von sehr verwickelter Beschaffenheit sind, weshalb man sie wohl auch den »unbewussten Urtheilen« zuzurechnen pflegt. Noch andere Beobachter haben wenigstens für einzelne Täuschungen dioptrische Anomalien oder den Einfluss der Netzhautkrümmung, des indirecten Sehens, der Zerstreuungskreise u. s. w. u. s. w. ins Feld geführt, oder es wurden auch, in Umkehrung des, wie oben nachgewiesen, thatsächlich bestehenden Causalverhältnisses, alle diese Täuschungen als Wirkungen perspectivischer Vorstellungen gedeutet, die durch das willkürliche Spiel der Phantasie oder durch unsere Gewohnheit an das Sehen körperlicher Dinge entstehen sollen. Es scheint mir nach den obigen Ausführungen überflüssig, hier auf eine Kritik dieser mannigfachen Hypothesen näher einzugehen[1].

Nur einer dieser Theorien sei hier deshalb noch gedacht, weil sie, wie ich glaube, richtig umgedeutet in keinem absoluten Gegensatz zu der obigen Betrachtungsweise steht, indem sie gewissermaßen von einem hier außer Rücksicht gebliebenen Punkte, nämlich von den subjectiven Gefühlswirkungen der Raumformen aus, die Erscheinungen zu würdigen sucht. Es ist dies die »mechanisch-ästhetische Theorie« von Th. Lipps, die vielleicht besser schlechthin eine »ästhetische« Theorie genannt werden sollte[2]. Sie geht von der Voraussetzung aus, dass ein Wahrnehmungsbild niemals mit einem andern directen Wahrnehmungsbild, sondern immer nur mit einem reproducirten Vorstellungsbild verglichen werde. In Folge dessen trage unsere Phantasie ihre eigene Thätigkeit in die Raumformen hinein: sie sehe in ihnen mechanische Thätigkeiten und Kräfte. Hierin liege aber die Nöthigung, geometrische Gebilde so zu deuten, dass sie diesem Bedürfniss genügen. Die optischen Täuschungen entstehen daher, indem wir die Vorstellungen der Tendenzen oder

---

[1] Als Arbeiten, die theils einzelne bemerkenswerthe Täuschungen erörtert, theils aber auch in dem oben angedeuteten Sinne zusammenfassende Erklärungsversuche unternommen haben, seien hier, außer den schon gelegentlich angeführten, noch erwähnt: Müller-Lyer, Archiv für Physiologie, Suppl. 1889, S. 265. Zeitschrift für Psychologie, Bd. 9, 1895, S. 4. Bd. 10, 1896, S. 421. Heymans, ebend. Bd. 9, S. 236. Thiéry, Philos. Stud. Bd. 11, 1895, S. 307, 603. Bd. 12, 1896, S. 67. Wundt, Die geometrisch-optischen Täuschungen. Abhandl. der sächs. Ges. der Wiss. Math.-phys. Cl. Bd. 24, Nr. II, 1898. Philos. Stud. Bd. 14, 1898, S. 27 ff. Filehne, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 17, 1898, S. 15. Witasek, ebend. Bd. 19, 1899, S. 1 ff. Zehender, ebend. Bd. 20, 1899, S. 65. Einthoven, Pflügers Archiv, Bd. 71, 1898, S. 1. Schumann, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 23, 1900, S. 1 ff. Stratton, Psychol. Rev. vol. 3, 1896, p. 611. vol. 4, 1897, p. 342. vol. 5, 1898, p. 632. Ch. H. Judd, ebend. vol. 5, 1898, p. 286, 388. vol. 9, 1902, p. 27. Jastrow, ebend. vol. 7, 1900, p. 47. J. M. Cattell, ebend. vol. 7, p. 325. Seashore and Williams, Psychol. Rev. vol. 7, p. 592. University of Jowa, Studies in Psych. vol. 3, 1902, p. 38.

[2] Th. Lipps, Raumästhetik und geometrisch-optische Täuschungen. 1897. Vgl. außerdem die Aufsätze desselben Verf.'s in Zeitschrift für Psychologie, Bd. 12, S. 39, und Bd. 18, S. 405.

Thätigkeiten, die uns in räumlichen Formen zu liegen scheinen, unmittelbar und unbewusst sich verwirklichen lassen. Die Form, in der eine »Tendenz zur Ausweitung« liegt, lassen wir in der Vorstellung sich ausdehnen; diejenige, deren Thätigkeit auf Verengerung ihrer selbst gerichtet scheint, lassen wir sich verengern. Da nun an sich in jeder Raumform die Möglichkeit einer Ausdehnung wie einer Verengerung liegt, so begegnen sich in ihr stets Tendenz und Gegentendenz. Jene ist aber die primäre, diese die secundäre: sie kann selbständig erst zur Wirkung gelangen, wenn sie über den Ort hinaus wirkt, an dem wir der primären unterworfen sind. So überwiegt an einem nicht begrenzten Raumstück die primäre Tendenz der Ausdehnung, an einem begrenzten die von dem umgebenden Raum ausgehende Tendenz der Hemmung: darum werden begrenzte gegen unbegrenzte Raumgrößen unterschätzt. So erscheint das Obensein als ein Sichheben, das Untensein als ein Hinabsinken; bei der Höhenausdehnung ist daher die Gegenthätigkeit gegen die Schwere, bei der Breitenausdehnung die Schwere selbst das Ursprünglichere: darum erscheint eine verticale Ausdehnung größer als eine gleich große horizontale. Wenn eine gegebene Richtung sich ändert, so begegnen sich eine Tendenz der Aenderung der Richtung und eine andere des Fortbestandes derselben. Da hier die erstere die primäre ist, so besteht eine Nöthigung zur Ueberschätzung der Richtungsunterschiede u. s. w.

Diese Theorie hat, wie ich glaube, das Verdienst, dass sie allein den ernsthaften Versuch gemacht hat, der in ihrer gewöhnlichen Form bloß mit willkürlichen und zufälligen Einbildungsvorstellungen operirenden Phantasietheorie eine wissenschaftliche Grundlage zu geben, indem sie die Wirksamkeit der Phantasie psychologisch zu analysiren sucht. Auch ist es sicherlich im allgemeinen zutreffend, dass unsere Phantasie die Objecte belebt, indem wir unser eigenes Fühlen und Streben in sie hineintragen: abgesehen von aller Aesthetik beweisen das die animistischen Vorstellungen, die wir als Erzeugnisse der Volksphantasie kennen. Viele der Ausführungen von Lipps über die ästhetischen Wirkungen einfacher Raumgestalten halte ich daher, so weit es sich lediglich um diese Wirkungen handelt, für fein empfundene und treffende Schilderungen elementarer ästhetischer Vorgänge, wenngleich mir auch hier nirgends eine Nöthigung vorzuliegen scheint, diese Wirkungen auf »unbewusste« Vorgänge zurückzuführen, da sie vielmehr erst dadurch ihre Bedeutung gewinnen, dass sowohl die Wirkungen wie die Motive als unmittelbar vorhandene, wenn auch zum Theil nur dunkel percipirte Bewusstseinsinhalte thatsächlich existiren. Aber so sehr ich das psychologisch-ästhetische Verdienst dieser Analyse anerkenne, so kann ich in ihr doch keine Erklärung der geometrisch-optischen Täuschungen selbst sehen. Vielmehr glaube ich, dass sich in Bezug auf diese die ästhetische Theorie, ähnlich wie die perspectivische, einer Umkehrung der thatsächlich stattfindenden causalen Beziehungen schuldig macht, indem sie die, wie oben nachgewiesen, durch bestimmte psychophysische Motive bedingten Strecken- und Richtungstäuschungen, die in Wahrheit erst gewisse ästhetische Wirkungen hervorbringen oder verstärken, zu Ursachen dieser Täuschungen erhebt. Jenen elementaren psychophysischen Bedingungen der Raumwahrnehmung gegenüber ist aber die ästhetische Wirkung der räumlichen Objecte, auf so elementarer Stufe sie in ästhetischer Beziehung stehen mag, immerhin schon eine höhere psychische Stufe: sie ist Wirkung, nicht Ursache der unmittelbaren räumlichen Wahrnehmung. Angesichts der engen Verkettung

von Ursachen und Wirkungen, die überall auf psychischem Gebiete stattfinden, mag immerhin zugestanden werden, dass die ästhetischen Gefühlsassociationen, die sich an die räumlichen Eindrücke anschließen, nun ihrerseits wiederum die rein räumliche Wirkung dieser Eindrücke steigern können. Dies sind dann aber in analogem Sinne Folgewirkungen der primären räumlichen Vorstellungen, wie nach einer andern Seite hin die perspectivischen Nebenvorstellungen, bei denen sich das ja mit voller Evidenz nachweisen lässt.

d. Gesichtstäuschungen bei Augenmuskellähmungen.

Mit den constanten Strecken- und Richtungstäuschungen, denen jedes Sehorgan, wie wir vermuthen dürfen, in Folge der den optischen Asymmetrien analogen asymmetrischen Vertheilung der Muskelkräfte unterworfen ist, haben diejenigen Gesichtstäuschungen eine große Aehnlichkeit, die in Folge pathologischer Störungen der Augenmuskelwirkungen beobachtet werden. Auch sie sind in dem Sinne constant, dass sie weder eine Veränderung durch Variation bestimmter objectiver Bedingungen noch eine Ausgleichung durch compensirende perspectivische Nebenvorstellungen zulassen[1]. Da diese Abweichungen des Sehens wegen ihrer engen Beziehungen zu dem Problem des sogenannten »Muskelsinnes« früher (Cap. X, S. 27 ff.) speciell an dem für die causale Analyse lehrreichsten Fall der Parese des äußeren geraden Augenmuskels erörtert wurden, so kann es hier genügen, daran zu erinnern, dass sich die Symptome der Abducenslähmung geradezu als ein Experimentum crucis für die Existenz von Empfindungen erwiesen, die unmittelbar an die Action der Muskeln geknüpft sind (vgl. Fig. 158, S. 28). Nun ist es aber gerade dieser Punkt, wo die pathologische Beobachtung die bei den geometrisch-optischen Täuschungen gemachten Erfahrungen ergänzt. Mochten nämlich auch diese Täuschungen zweifellos das »Bewegungsbild« des Auges in dem oben angeführten Sinne als einen neben dem Netzhautbilde gleich wichtigen Factor erweisen, so lassen sie doch unbestimmt, *wie* dieser Factor seinen Einfluss geltend macht. Auf Grund jener Täuschungen könnte man vielleicht ebenso gut an ein unmittelbar existirendes Bewusstsein der Bewegung, wie an eine sie begleitende Empfindung denken, wenn auch allerdings in Anbetracht der großen Aehnlichkeit der Augen- mit den Gelenkbewegungen, deren äußerst fein abgestufte Empfindungen durch GOLDSCHEIDERs bekannte Versuche nachgewiesen sind[2], die zweite dieser Möglichkeiten von vornherein die sehr viel wahrscheinlichere ist. Immerhin, wenn noch der Schatten eines Zweifels bleiben und jemand geneigt sein sollte, in diesem Fall dem Auge eine Art Ausnahmestellung zuzuweisen, so würde dieser

---

[1] Vgl. die systematische Schilderung der einzelnen Formen und ihrer Symptome bei A. GRAEFE, in GRAEFE-SÄMISCH, Handbuch der Augenheilkunde[2], Bd. 8, II, S. 17 ff.

[2] Vgl. Bd. 1, S. 533.

Zweifel gegenüber den bei der Parese der Augenmuskeln bestehenden Symptomen schwinden müssen. Denn diese Symptome lassen, wie wir sahen, überhaupt nur eine doppelte Deutung zu: entweder besitzen wir in bestimmten, die Bewegung begleitenden Empfindungen ein Maß für den Umfang derselben, welches dann wieder auf die Auffassung der durchmessenen räumlichen Distanz einwirkt; oder es gibt irgend einen reinen, ohne sinnlich empfindbares Substrat vor sich gehenden Act des »Willens«, der »Aufmerksamkeit«, der »Einbildungskraft«, der den Ort bestimmt, wo wir ein Ding sehen. Nun ist vom Standpunkt der psychologischen Erfahrung aus die letztere Annahme unmöglich, weil es eine abstracte Willens- oder Einbildungskraft überhaupt nicht gibt, sondern weil alles das, was man mit diesen Namen bezeichnet, in concreten, d. h. in irgend welche Empfindungen und Gefühle zu zerlegenden Vorgängen besteht. Für uns bleibt demnach, da hinwiederum in jenen pathologischen Fällen nicht absolut neue Einflüsse angenommen werden können, die nicht in den Functionen des normalen Auges bereits vorgebildet wären, als unabweisbares Ergebniss dieses übrig, dass auch die normalen Täuschungen des Augenmaßes, insofern sie durchgängig auf Bewegungsmotive zurückführen, nur in Empfindungen begründet sein können, welche die Augenbewegungen begleiten, und in ihren Gradabstufungen ein Maß dieser Bewegungen enthalten.

4. Wahrnehmung bewegter Objecte.

a. Relativität der Bewegungsvorstellung. Scheinbewegungen.

Im Vorangegangenen haben wir die Einflüsse kennen gelernt, welche die Bewegung des Auges auf die Lagebestimmung und Ausmessung der Gegenstände ausübt, wenn diese unbewegt bleiben. Dem gegenüber treten nun wesentlich neue Bedingungen für die Bildung der Vorstellungen ein, wenn die Gegenstände selbst sich bewegen. Auch das Auge bleibt dann in der Regel nicht ruhend, sondern es bewegt sich in gleichem Sinne, indem es die Gegenstände fixirend verfolgt. Dies kann willkürlich, es kann aber auch reflexartig geschehen, dadurch, dass in Folge der zwischen Lichteindrücken und Augenbewegungen bestehenden Innervationsverbindungen die Blicklinie von irgend einem dominirenden Punkt des Sehfeldes, der sich bewegt, festgehalten wird. Wandern nun Auge und gesehenes Object gleichzeitig, so ist eine richtige Auffassung der äußeren Bewegung nur möglich, wenn sich die Augenbewegungen in deutlich bewussten und unmittelbar auf sie selbst in ihrer wirklichen Geschwindigkeit bezogenen Empfindungen geltend machen. Im entgegengesetzten Fall

treten Täuschungen ein. Am häufigsten sind dieselben bei passiven Bewegungen des Körpers. Hier wird mit dem ganzen Körper auch das Auge bewegt; aber da uns keine Muskelanstrengung von dieser Bewegung Kunde gibt, so beziehen wir leicht die Verschiebung der Netzhautbilder auf eine Bewegung der äußeren Gegenstände. Diese Täuschung tritt hauptsächlich dann ein, wenn die Geschwindigkeit der passiven Bewegung diejenige unserer gewohnten eigenen Ortsbewegungen erheblich übertrifft. Bei rascher Wagen- oder Eisenbahnfahrt zeigt sich deshalb die Scheinbewegung am stärksten an nahe gelegenen Gegenständen, während wir weiter entfernte als ruhend auffassen. In der Regel theilt sich hierbei die Bewegungsvorstellung zwischen dem ruhenden und dem bewegten Objecte. So stellen wir bei rascher Fahrt uns selbst mäßig bewegt vor, während wir den äußern Gegenständen eine entgegengesetzte Bewegung geben. Sitzt man am Strand der See auf einem Stuhl, der von den Wogen umspült wird, so glaubt man, wenn die Welle gegen den Strand dringt, gleichzeitig selber nach der hohen See hin bewegt zu werden. Sobald dagegen die Welle zurückgeht, glaubt man umgekehrt nach dem Strande zurückzufahren.

Alle diese Scheinbewegungen beruhen auf der Relativität der Bewegungsvorstellungen. Wir fassen denjenigen Gegenstand als ruhend auf, der sein Lageverhältniss zu uns selbst nicht wechselt. Wenn nun zwei Gegenstände ihre gegenseitige Lage im Raume ändern, so erscheint uns derjenige bewegt, dessen Netzhautbild sich verschiebt, oder zu dessen Fixation wir der verfolgenden Augenbewegung bedürfen. Die Vorstellung bleibt daher in der Regel so lange im Einklang mit den wirklichen Dingen, als von zwei oder mehr gleichzeitig gesehenen Objecten nur das eine sein Lageverhältniss zu uns ändert, die andern ruhend bleiben. Immerhin sind auch hier Täuschungen möglich, falls die Bewegung verhältnissmäßig langsam geschieht, wo die verfolgende Blickbewegung unter der Schwelle der Empfindung bleiben kann. Wenn z. B. des Abends Wolken am Monde vorüberziehen, so können wir diese Bewegungen auf den Mond übertragen, der uns nun in entgegengesetzter Richtung zu wandern scheint, während die Wolken stille stehen. Bei dieser Täuschung wirkt der Umstand mit, dass wir geneigter sind kleinere Gesichtsobjecte für bewegt zu halten als größere, eine Neigung, die sich wohl daraus erklären lässt, dass in der weit überwiegenden Mehrzahl der Fälle die bewegten Objecte kleiner sind als ihre relativ ruhende Umgebung, was nun wieder associativ auf eine neue Bewegungsvorstellung einwirken kann. Viel leichter noch treten derartige Täuschungen ein, wenn beide gegen einander bewegte Objecte zugleich ihre relative Lage zu uns ändern. So wird die vorige Erscheinung lebhafter, wenn wir uns selber bewegen. Am schwankendsten ist

aber auch hier die Vorstellung, wenn wir selbst passiv bewegt sind. So übertragen wir, im Eisenbahnzuge sitzend, in der Regel unsere eigene Bewegung auf die eines andern ruhig danebenstehenden Zuges; wir können aber auch umgekehrt selber zu fahren glauben, während wir in Wirklichkeit stille sitzen und der nebenstehende Zug in entgegengesetzter Richtung vorbeifährt[1].

Wie wir so bei zwei äußern Objecten die wirkliche Bewegung des einen gelegentlich in eine entgegengesetzte Scheinbewegung des andern umwandeln, so kann nun die nämliche Umkehrung ganz oder theilweise auch dann geschehen, wenn unser eigener Körper eines der beiden sich gegen einander verschiebenden Objecte ist. Unterstützt wird in diesem Falle die Täuschung gewöhnlich noch dadurch, dass wir unsere eigenen Augenbewegungen sehr häufig unterschätzen. Was wir an der wirklichen Augenbewegung ignoriren, das muss dann als eine Bewegung der Objecte in entgegengesetztem Sinne vorgestellt werden. Selbst bei der Fixation ruhender Gegenstände können derartige Täuschungen eintreten. Je länger wir uns anstrengen ein Object zu fixiren, um so weniger gelingt es das Auge in seiner Stellung festzuhalten, und die zitternden Bewegungen desselben können dann auf das Object übertragen werden[2]. Am meisten macht sich dies im Finstern geltend, wenn man einen mäßig bewegten leuchtenden Punkt mit dem Auge verfolgt. Sehr langsame Bewegungen werden dann gar nicht wahrgenommen, schnellere aber unterschätzt, während sofort deutlich die Vorstellung der Bewegung entsteht, sobald man einen gleichzeitig im Gesichtsfeld befindlichen ruhenden Punkt fixirt und also die Bewegung mittelst der Verschiebung des Netzhautbildes auffasst. Im letzteren Fall erscheint nach den übereinstimmenden Beobachtungen VON FLEISCHLs und AUBERTs die Geschwindigkeit etwa noch einmal so schnell als bei der Verfolgung des bewegten Punktes selbst[3]. Aus diesen Erfahrungen geht hervor, dass die Augenbewegungen nur ein höchst unsicheres Maß der Bewegungen äußerer Objecte sind. Dies könnte bei dem großen Einflusse, den wir der Bewegungsempfindung auf die Ausmessung des Sehfeldes und auf die Auffassung der räumlichen

[1] Viele andere Beispiele dieser Art finden sich beschrieben bei HOPPE, Die Scheinbewegung. 1879, S. 173 ff.

[2] Hierher gehört auch das Phänomen der sogenannten »flatternden Herzen«: Wenn man auf einem lebhaft farbigen Blatt kleine andersfarbige oder graue Figuren anbringt, und dann das Blatt hin und her bewegt, so scheinen die Figuren selbst sich gegen das Papier zu verschieben. Die Ursache der Erscheinung liegt wahrscheinlich darin, dass complementäre Nachbilder der Farbe des Grundes entstehen, die, indem sie sich mit dem Auge bewegen, auf eine Bewegung der Objecte bezogen werden. Vgl. SZILI, Archiv für Physiologie, 1891, S. 157. Zeitschrift für Psychologie, Bd. 3, S. 359 ff.

[3] VON FLEISCHL, Wiener Sitzungsber. 3. Abth. Bd. 86, S. 17. AUBERT, PFLÜGERS Archiv, Bd. 39, S. 347. Bd. 40, S. 459.

Verhältnisse ruhender Objecte einräumen mussten, auffallend erscheinen. Gleichwohl stehen beide Thatsachen durchaus mit einander im Einklang. Gerade deshalb, weil wir die Augenbewegung zur Ausmessung ruhender Objecte und ihrer Entfernungen benützen, werden wir nämlich im allgemeinen jene nicht auf eine Bewegung der Gegenstände selbst beziehen. Soll das letztere geschehen, so müssen uns entweder Orientirungspunkte gegeben sein, oder die objective Bewegung muss eine hinreichende Geschwindigkeit besitzen, so dass sich die ihr folgende Blickbewegung deutlich von den gewöhnlichen Blickbewegungen bei der Betrachtung ruhender Objecte unterscheidet.

b. Stroboskopische Erscheinungen.

Neben den Augenbewegungen und der Orientirung an relativ ruhenden Objecten übt bei der Auffassung äußerer Bewegungen noch das Nachbild eine Wirkung aus. Um die Bewegung zwischen der Ausgangslage *a* und der Endlage *b* eines Gegenstandes als eine stetige aufzufassen, muss die Vorstellung entstehen, dass die zwischen *a* und *b* vorhandenen Raumlagen sämmtlich durchlaufen worden seien. Erfolgt nun die Bewegung sehr schnell, so können die verschiedenen Phasen überhaupt zu keiner deutlichen Auffassung gelangen; aber auch wenn sie langsamer ist, können die neuen Eindrücke immer noch durch die Vermischung mit den Nachbildern der vorangegangenen gestört werden. Hieraus ergibt sich schon, dass die Wahrnehmung einer Bewegung an bestimmte Bedingungen der Intensität und Dauer der Reize, sowie der Geschwindigkeit ihres Wechsels geknüpft ist. Man überzeugt sich von dem Einfluss dieser Bedingungen am schlagendsten vermittelst der stroboskopischen Vorrichtungen. Sie bestehen in rotirenden Apparaten, die dem Auge die einzelnen Phasen eines Bewegungsvorganges darbieten, in deren Zwischenpausen das Auge unerregt bleibt. Bei dem wirksamsten dieser Apparate, dem als Kinderspielzeug allbekannten Dädaleum von HORNER (auch Zootrop oder Wunderkreisel genannt), sieht man durch die in angemessenen Abständen angebrachten verticalen Schlitze einer außen schwarz lackirten Blechtrommel auf einen an die Innenfläche der Trommel angelegten Papierstreifen, auf dem sich die Zeichnung der Bewegungsphasen befindet (Fig. 281). Wird nun die Trommel um ihre verticale Achse gedreht, so verschieben sich ihre Fenster und die einzelnen Bewegungsphasen, die man an der gegenüberliegenden Innenwand des Cylinders betrachtet, in entgegengesetzter Richtung, letztere aber setzen sich zu einer anscheinend continuirlichen Bewegung zusammen[1]. Eine solche

---

[1] HORNER, POGGENDORFFS Annalen, Bd. 32, S. 650. Aeltere Vorrichtungen dieser

kann jedoch, wie man sich leicht überzeugt, nur zwischen einer unteren und einer oberen Grenze der Geschwindigkeit entstehen. Jenseits dieser fließen die einzelnen Bilder mehr und mehr in einander; unterhalb jener bleiben sie durch leere Intervalle geschieden. Auf diese beiden Grenzwerthe ist nun die Dauer des Nachbildes jedes einzelnen Eindrucks von entscheidendem Einfluss. Je länger man daher durch Verbreiterung der Spalten jedes einzelne Phasenbild auf das Auge einwirken lässt, um so langsamer kann die Bewegung erfolgen und gleichwohl noch den Eindruck eines stetigen Vorganges hervorbringen. Ebenso müssen die Bilder in um so kürzeren Zeitintervallen vor dem Auge erscheinen, je mehr Bilder neben einander dem Auge sichtbar sind. Die Bedingungen für die Entstehung einer stetigen Bewegungsvorstellung sind demnach dann am günstigsten, wenn das positive Nachbild der vorangegangenen Phase in dem Moment verschwindet, wo das neue Bild auftritt. Aus diesem Grunde ist es nothwendig, dass zwischen den Erregungen durch die einzelnen Phasenbilder Pausen kommen, während deren die Netzhaut unerregt bleibt oder von einem hinreichend indifferenten Reize getroffen wird, damit die Eindrücke ungestört nachwirken können[1]. Ferner muss, wenn das Bild des bewegten Gegenstandes in seiner richtigen Form erscheinen soll, die Bildreihe, wie dies am Dädaleum der Fall ist, in der entgegengesetzten Richtung, aber mit

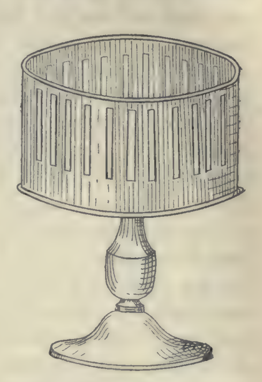


Fig. 281. Stroboskop nach Horner.

Art sind Stampfers Stroboskop und Plateaus Phänakistoskop. Vgl. über dieselben Helmholtz, Physiologische Optik[1], S. 350, [2] S. 494 ff., und K. Marbe, Philos. Stud. Bd. 14, 1898, S. 376 ff. Für psychologische Zwecke ist übrigens die Anwendung eines genaueren Apparates wünschenswerth, der zugleich eine umfangreiche Variation der verschiedenen Bedingungen gestattet. Ein solches Stroboskop für exacte Versuche hat Herr Mechaniker E. Zimmermann in vorzüglicher Ausführung gebaut. Dasselbe ist nach dem Princip des Horner'schen Dädaleum eingerichtet, hat aber eine stetigere Bewegung, die durch einen Elektromotor mit Schnurlauf zu beliebiger, jedesmal constanter Geschwindigkeit eingestellt werden kann. Ferner kann der Durchmesser des Apparates dadurch, dass der Boden desselben aus neun verschiebbaren Metallschlitten besteht, zwischen 42 und 102 cm variiren, und es kann die Drehachse in jede beliebige Lage zwischen vertical und horizontal gebracht werden. Das Folgende zum Theil nach Versuchen, die von Herrn Dr. Paul Linke mit diesem Instrument in dem Leipziger psychologischen Laboratorium ausgeführt worden sind.

[1] O. Fischer, Philos. Stud. Bd. 3, 1886, S. 128 ff. Die letztgenannte Bedingung ist von Stricker (Studien über die Bewegungsvorstellungen. 1882, S. 28 ff.) verkannt worden. Auch dessen sonstige Schlüsse bezüglich des Einflusses der Bewegungsempfindungen auf die Erscheinungen sind daher unzutreffend. Vgl. Fischer, a. a. O. S. 151. Grützner, Pflügers Archiv, Bd. 55, 1894, S. 508. Marbe, a. a. O. S. 385.

der gleichen Geschwindigkeit bewegt werden wie die Spalten, durch die man blickt; und auf die Beschaffenheit der entstehenden Bewegungsvorstellung ist endlich das Zahlenverhältniss der Fenster und der Phasenbilder von maßgebendem Einfluss. Sind beide an Zahl gleich, so werden die Bilder auf ein und dasselbe Object, z. B. auf ein sich drehendes Rad, bezogen, das an seinem Orte verbleibt. Ist dagegen die Zahl der Bilder um eines kleiner oder größer als die der Oeffnungen, so erblickt man eine fortschreitende Bewegung, die im ersten Fall die gleiche, im zweiten die entgegengesetzte Richtung hat wie die Rotation der Trommel. Dabei gewinnt man aber zugleich die Vorstellung vieler, auf einander folgender bewegter Objecte, z. B. einer Reihe hinter jedem Spalt vorbeirollender Räder. Weisen diese Bedingungen schon auf die gleichzeitige Association mit geläufigen Vorstellungen hin, so verräth sich dieser psychologische Einfluss nun auch darin, dass die untere Geschwindigkeitsgrenze, bei der eben noch Bewegung wahrgenommen wird, tiefer liegt, wenn man von größeren Geschwindigkeiten mit bereits deutlich ausgebildeter Bewegungsvorstellung kommt, als umgekehrt. Demnach sind wir geneigt die Vorstellung der Bewegung, sobald wir sie einmal gebildet haben, festzuhalten, auch wenn die objectiven Bedingungen den sonst erforderlichen nicht mehr völlig entsprechen. Ueberhaupt aber können kleinere Abweichungen der einander folgenden stroboskopischen Bilder in der resultirenden Bewegungsvorstellung vollständig verschwinden, indem offenbar, so lange nur die Abweichung nicht allzu erheblich ist, die associativen und reproductiven Elemente geläufiger Vorstellungen die heterogenen Bestandtheile des directen Bildes verdrängen und ihnen adäquate associative Elemente substituiren. Hierin entsprechen diese Erscheinungen durchaus einer großen Reihe später zu erörternder Beispiele simultaner, assimilativer Apperception im Gebiet des Gesichtssinns (vgl. Abschn. V). Wie sehr hier solche associative Factoren vorherrschen, zeigt sich übrigens auch noch deutlich, wenn man die Geschwindigkeit der Rotation eben zureichend nimmt, dass eine Bewegungsvorstellung entstehen kann, aber bei weitem nicht groß genug, dass das Nachbild bis zum folgenden Eindruck andauert. In diesem Fall bemerkt man zwar die Unterbrechung der einzelnen Phasenbilder; trotzdem hat man gleichzeitig die Vorstellung, dass die Phasen einem zusammenhängenden Bewegungsvorgang angehören, den man nun zum Theil unmittelbar in die Zwischenzeiten verlegt, während deren das Object nicht gesehen wird. Auf diese Weise kann man noch bei einem Intervall von 6 sec. zwischen je zwei auf einander folgenden Bildern vollkommen klar die Bewegungsvorstellung vollziehen, während sich die Zeit bis zum völligen Verschwinden des Nachbildes höchstens bis auf 3 sec. erstreckt.

Alle diese Beobachtungen lehren, dass sich bei der Entstehung der stroboskopischen Erscheinungen zwei Factoren, ein physiologischer und ein psychologischer, auf das engste verbinden. Der erste besteht in den Nachbildern der Eindrücke, der zweite in der Assimilation der Vorstellungen. In der Regel hat man das erste dieser Momente für das hauptsächlich wirksame angesehen, und dem zweiten höchstens eine secundäre Bedeutung zugeschrieben. In Wirklichkeit ist das Verhältniss das umgekehrte: die entscheidende Rolle spielt die assimilative Association der Bewegungsvorstellungen, die von der Nachbildwirkung nur insoweit unterstützt wird, als diese die Auffassung einer continuirlichen Bewegung begünstigt[1].

Verwandt mit den stroboskopischen Erscheinungen sind die eigenthümlichen Bewegungstäuschungen, die man beim Sehen bewegter Objecte durch Gitter beobachtet. Betrachtet man z. B. durch ein Gitter von verticalen engen Stäben ein Wagenrad, während zugleich das Gitter horizontal fortbewegt wird, so erscheinen die momentan dem Gitter parallelen Speichen vertical, alle andern gekrümmt, und zwar die horizontalen am stärksten. Die Convexität der Curven ist stets nach unten gekehrt, und jede Speiche erscheint im Moment des Ansehens ruhend. Aehnliche Täuschungen können entstehen, wenn nicht das Gitter bewegt wird, sondern wenn man sich selbst an demselben vorbeibewegt[2]. Die Erscheinung erklärt sich daraus, dass, sobald bei der Horizontalbewegung des Gitters die Oeffnung mit einer Stelle der Peripherie des Rades zusammentrifft, immer zuerst der äußerste Punkt einer Speiche gesehen wird, während die andern Theile derselben noch verdeckt sind; dann kommt ein weiter gegen das Centrum gelegener Punkt, u. s. w. Folgt man so den successiv zu Gesicht gelangenden Punkten, so liegen diese auf einer Curve, die durch die Schnitte der nach einander zur Deckung gelangenden Punkte einer Gitteröffnung und des Radius des Rades entsteht.

Wie auf solche Weise bei der unmittelbaren Bildung einer Bewegungsvorstellung Nachbilder mitwirken, so kann nun aber auch eine vorangegangene Bewegung eine nachfolgende, secundäre Bewegungsvorstellung hervorrufen, dadurch dass von jener ein Nachbild zurückbleibt. Verfolgt man z. B. bei der Eisenbahnfahrt die nahe befindlichen, in rascher Scheinbewegung begriffenen Gegenstände, und blickt dann auf den Fußboden

[1] In Verbindung mit der Momentphotographie ist die Stroboskopie gegenwärtig durch die Bemühungen von ANSCHÜTZ, MUYBRIDGE u. A. ein überaus wirksames Hülfsmittel zur Darstellung und Untersuchung von Bewegungsvorgängen, namentlich der natürlichen Bewegungen von Menschen und Thieren, geworden. Ueber diese Anwendungen, die ausschließlich von technischem und physiologischem Interesse sind, vgl. HELMHOLTZ, Physiologische Optik[2], S. 496 ff.

[2] ROGET, POGGENDORFFS Annalen, Bd. 5, S. 93. PLATEAU, ebend. Bd. 20, S. 320 u. 543. FARADAY, ebend. Bd. 22, S. 601. EMSMANN, ebend. Bd. 54, S. 326. O. FISCHER, Philos. Stud. Bd. 3, 1886, S. 154.

des Wagens, so scheint dieser in der Richtung des Zugs dem Blick zu entfliehen. Richtet man am Ufer eines schnell fließenden Gewässers den Blick etwa eine Minute lang auf das Spiel der Wellen und fixirt dann ruhende Objecte, wie den Ufersand oder die Fensterreihe eines Hauses, so bewegen sich diese wiederum in entgegengesetzter Richtung[1]. In allen diesen Fällen ist die Scheinbewegung auf die Nachbarschaft der fixirten Stelle beschränkt. So ist z. B. im letzterwähnten Versuch nur die fixirte Fensterreihe in der Scheinbewegung begriffen, während die darüber und darunter gelegene still zu stehen scheinen. Nimmt man ferner zwei Scheiben mit abwechselnd schwarzen und weißen Sectoren, wie sie zu Versuchen am Farbenkreisel dienen, und lässt man die eine von ihnen längere Zeit mit solcher Geschwindigkeit vor dem Auge rotiren, dass noch eben die einzelnen Sectoren deutlich zu unterscheiden sind, so scheint, wenn man plötzlich den Blick von der bewegten auf die ruhende Scheibe wendet, diese sich in entgegengesetztem Sinne zu drehen. Wählt man als rotirendes Object eine weiße archimedische Spirale auf schwarzem Grunde, so erscheint dieselbe bei der Drehung nicht als Spirale, sondern in Folge des fortwährenden Wechsels der Bilder verbinden sich die Eindrücke zu der Vorstellung eines Systems concentrischer Kreise, die fortwährend in einander übergehen. Dreht man die Scheibe so, dass das periphere Ende der Spirale vorwärts schreitet, so erzeugen sich die Kreise an der Peripherie und schreiten immer kleiner werdend gegen das Centrum fort; dreht man entgegengesetzt, so erzeugen sich die Kreise im Centrum und schreiten größer werdend gegen die Peripherie fort, wo sie verschwinden. Fixirt man nun eine solche Scheibe eine Zeit lang, und geht dann mit dem Blick auf ein andres Object über, so zeigt dasselbe wiederum eine Bewegung im entgegengesetzten Sinne. Ein menschliches Angesicht z. B. scheint sich bei der ersten Art der Drehung zu vergrößern, bei entgegengesetzter Anordnung zu verkleinern[2]. Die Beschaffenheit dieser Bewegungstäuschungen lässt keinen Zweifel daran, dass man es bei ihnen weder mit Wirkungen der Augenbewegungen noch, wie mehrfach angenommen wurde, mit räthselhaften Reactionen der Netzhaut, sondern lediglich mit

---

[1] PURKINJE, Med. Jahrb. des österr. Staates, Bd. 6, 2, S. 96. OPPEL, POGGENDORFFS Annalen, Bd. 99, 1856, S. 540.

[2] PLATEAU, POGGENDORFFS Annalen, Bd. 80, 1849, S. 287. OPPEL, ebend. Bd. 99, S. 540. Eine interessante Modification dieses Versuchs ist die folgende: Man legt auf eine mit einer Spirale versehene größere Scheibe eine kleinere mit entgegengesetzt laufender Spirale und darauf endlich noch eine kleinere mit der ersten gleichlaufende. Versetzt man diese Combination in rasche Rotation, so zeigen sich als Bewegungsnachbilder auf einem nachher fixirten weißen Schirm concentrische Ringe, von denen die einen zu schrumpfen, die andern anzuschwellen scheinen. Fixirt man die Scheiben nur mit dem einen Auge und betrachtet dann die weiße Fläche mit dem andern, so erblickt auch dieses, wenn auch in etwas schwächerem Grade, die Nachbilderscheinung. Vgl. DVORAK, Wiener Sitzungsber. 2. Abth. Bd. 66, 1872. KLEINER, PFLÜGERS Archiv, Bd. 18, 1878, S. 572.

Wirkungen des Nachbildes zu thun hat, zu denen dann außerdem noch associative Momente hinzutreten. Indem ein schwaches Nachbild der gesehenen Bewegung im Auge zurückbleibt, scheint ein fixirtes Object in Folge der Relativität der Bewegungsvorstellung in entgegengesetztem Sinne bewegt zu sein. Das Nachbild, in der Regel zu schwach um selbst gesehen zu werden, genügt doch, um auf das Object die zu seiner eigenen entgegengesetzte Richtung zu übertragen. Hieraus erklärt sich die Beschränkung der Scheinbewegung auf den Fixationspunkt und seine Nachbarschaft in den zuerst geschilderten Fällen, ebenso wie die Verbindung mehrerer concentrischer Bewegungen in den zuletzt erwähnten Erscheinungen, die eine Ableitung aus unwillkürlichen und unbeachteten Augenbewegungen ausschließen[1].

c. Gesichtsschwindel.

Die zuletzt geschilderten Bewegungstäuschungen berühren sich bereits nahe mit den Erscheinungen des Gesichtsschwindels, und manche von ihnen können sich unmittelbar mit diesem verbinden. Er selbst ist aber durchaus verwandt den Schwindelerscheinungen im Gebiete des Tastsinnes, besonders denjenigen, die auf den tonischen Sinnesapparat des Bogenlabyrinths zurückzuführen sind, und diese pflegen ihn mehr oder minder ausgeprägt stets zu begleiten[2]. Die nächste Ursache für die bei dem Schwindel zu beobachtende Scheinbewegung der Objecte liegt auch hier in nicht empfundenen oder nur unvollständig empfundenen Augenbewegungen, in Folge deren die durch die letzteren entstandenen Veränderungen des Netzhautbildes als Bewegungen der Objecte erscheinen. Sobald man bei einem Schwindelanfall, aus welcher Ursache er auch entstanden sei, das Auge geöffnet hält, treten solche Scheinbewegungen auf, und sie sind sogar bei geschlossenem Auge an dem Lichtstaub des dunkeln Gesichtsfeldes wahrzunehmen. Am augenfälligsten ist die Erscheinung beim Drehschwindel. Hat man sich mehrmals rasch auf der Ferse gedreht und hält dann plötzlich still, so setzen die Objecte die Scheinbewegung, in der sie während der Drehung begriffen waren, eine Zeit lang fort, und dieselbe ist viel intensiver als während der Drehung,

---

[1] Auch die oben (vor. Anm.) erwähnte Beobachtung, dass sich beide Augen in die Erzeugung der Erscheinung theilen können, indem das eine den bewegten Gegenstand fixirt, das andere die nachfolgende Scheinbewegung wahrnimmt, fügt sich dieser Erklärung, da der Lichtstaub des dunkeln Gesichtsfeldes im verschlossenen Auge auf das gemeinsame Sehfeld herüberwirkt. Manche andere Erscheinungen erklären sich auf ähnliche Weise: so die von ZEHFUSS (WIEDEMANNS Annalen, Bd. 9, S. 674), EXNER (Centralbl. für Physiologie, 1887, S. 135), LIPPS (Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane, Bd. 1, S. 60) beschriebenen Phänomene. Vgl. zu letzterem O. SCHWARZ, ebend. Bd. 3, S. 398 ff.

[2] Vgl. oben S. 476 ff. und Bd. 1, S. 275.

weil man sich jetzt des Stillstandes des eigenen Körpers bewusst ist. Die Scheinbewegung erfolgt demnach in einem der vorangegangenen Drehung um die Körperachse entgegengesetzten Sinne[1]. Zugleich aber richtet sie sich nach der Orientirung des Kopfes, indem sie stets um die bei normaler Stellung verticale Achse desselben gerichtet ist. Neigt man daher, während die Scheinbewegung erfolgt, den Kopf plötzlich zur Seite, so verändert auch jene in entsprechendem Sinn ihre Richtung. Dass die Erscheinung durch Augenbewegungen wenigstens hauptsächlich bedingt wird, davon kann man sich theils durch die objective Beobachtung der Augen theils subjectiv durch die Erzeugung eines Nachbildes überzeugen: das letztere bewegt sich nämlich in entgegengesetzter Richtung wie die in Scheinbewegung befindlichen Objecte[2]. Es reiht sich also in dieser Beziehung die Bewegungstäuschung vollständig den oben (S. 577 ff.) erwähnten an, bei denen ebenfalls nicht empfundene oder unterschätzte Augenbewegungen eine Rolle spielen. Dies wird auch dadurch bestätigt, dass die Scheinbewegung zum Stillstand gebracht werden kann, wenn man einen Gegenstand starr fixirt, was freilich bei starkem Schwindel sehr schwer gelingt. Die Augenbewegungen selbst, welche die Scheinbewegung erzeugen, sind aber durch die anderweitigen peripheren und centralen Bedingungen verursacht, die dem Schwindel überhaupt zu Grunde liegen, und unter denen namentlich die Reflexverbindungen des Bogenlabyrinths mit den Augenmuskeln hervortreten. Dies erhellt deutlich aus der Art des Eintritts und Verlaufs der Erscheinungen. Zunächst bewegt sich nämlich das Auge in der der Körperbewegung entgegengesetzten Richtung; hat es dann in dieser eine seitliche Ablenkung erreicht, die nicht mehr überschritten werden kann, so springt es plötzlich in die Anfangslage zurück, worauf seine Bewegung und damit auch die Scheinbewegung von neuem beginnt, ein Process, der sich mehrmals nach einander wiederholen kann. Unterstützt werden alle diese Gesichtserscheinungen durch die gleichzeitigen Symptome des früher (S. 476 ff.) erwähnten Tastschwindels. Indem diese darin bestehen, dass unser eigener Körper sowie jeder unmittelbar betastete Gegenstand sich in einem der ausgeführten Drehung entgegengesetzten Sinne zu drehen scheinen, entsteht schon bei geschlossenem Auge die Vorstellung, dass auch der Raum außer uns in einem der ursprünglichen Drehbewegung entgegengesetzten Sinne in Rotation versetzt werde. So erklärt es sich wohl auch, dass im Auge erzeugte Druckbilder trotz ihrer fixen Lage auf der Netzhaut eine ähnliche Scheinbewegung wie äußere Objecte

[1] Purkinje, Med. Jahrb. des österr. Staates, Bd. 6, 2, S. 79 ff.

[2] Mach, Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen, S. 84. Breuer und Kreidl, Pflügers Archiv, Bd. 70, 1898, S. 494.

ausführen können. Da nun solche Druckbilder in die Ferne projicirt werden, so betheiligen sie sich von selbst an den Dislocationen, die der gesammte Gesichtsraum und die unser eigener Körper zu erfahren scheint.

5. Binoculare Wahrnehmungen und Tiefenvorstellungen.

a. Synergie der Bewegungen des Doppelauges.

Unsere beiden Augen sind in physiologischer Hinsicht zusammengehörige Organe. Aehnlich wie bei den Organen der Ortsbewegung beruht aber die Gemeinschaft ihrer Function zu einem wesentlichen Theile auf der functionellen Verbindung ihrer Bewegungsapparate. Die Stellung der beiden Augen zu einander ist nun unzweideutig bestimmt, wenn man erstens die Richtungen der beiden Blicklinien und zweitens die Orientirung jedes einzelnen Auges in Bezug auf seine Blicklinie kennt. Letztere wird, wie früher (S. 521) bemerkt, an dem sogenannten Rollungs- oder Raddrehungswinkel gemessen. Bei der unmittelbaren Verfolgung der Augenbewegungen pflegen wir zunächst nur die Richtungen der Blicklinien zu beachten, da sie allein unter dem directen Einfluss des Willens stehen. Die Rollungen, die in Folge der mechanischen Bedingungen der Bewegung ohne unser Wissen und Wollen eintreten, und die unter allen Umständen sehr klein sind, können durch die physiologische Untersuchung erst nachgewiesen werden; wir wollen daher vorläufig von ihnen absehen, um weiter unten auf sie und ihre Bedeutung für das Doppelauge zurückzukommen. An den Bewegungen der Blicklinien gibt sich nun die Synergie des Doppelauges sogleich dadurch zu erkennen, dass sich im allgemeinen stets beide Blicklinien gleichzeitig bewegen, und dass gewisse Richtungen der Bewegung mit einander fest verknüpft sind, so dass ihre Verbindung nur unter ungewöhnlichen Verhältnissen oder in Folge besonderer Einübung gelöst werden kann. In dieser Beziehung ist der Zwang zur zusammenstimmenden Bewegung beim Doppelauge sogar viel größer als bei den Organen der Ortsbewegung, und er nähert sich dem Zwang zur bilateralen Action, wie er an den vollkommen symmetrisch wirksamen Muskelgruppen, z. B. an den Athmungs- und Schluckwerkzeugen, besteht.

Beide Augen heben oder senken sich demnach unter allen Umständen gleichmäßig; ungleiche Höhenstellungen derselben gibt es nicht bei normalem Bewegungsapparat. Seitwärts können sie sich dagegen sowohl um gleiche wie um ungleiche Winkel wenden, dabei müssen aber entweder die Blicklinien parallel stehen oder nach irgend einem Punkte

convergiren; Divergenzstellungen sind normalerweise unmöglich. Unter diesen verschiedenen Bewegungen scheinen nun diejenigen mit parallel bleibenden Blicklinien, welche wir die Parallelbewegungen nennen wollen, ursprünglich die natürlichsten zu sein. Kinder in den ersten Lebenstagen sieht man vorzugsweise solche ausführen. Allerdings treten zeitweise auch Convergenzstellungen ein; sie kommen aber fast nur dann vor, wenn der Blick gesenkt wird, eine Bewegung, die beim Neugeborenen verhältnissmäßig selten ist. Diese Erscheinung hängt damit zusammen, dass überhaupt, sobald die Blicklinien in eine geneigte Lage übergehen, ein unwillkürlicher Antrieb zur Convergenz derselben erfolgt (S. 526). Die Parallelbewegung ist die zweckgemäße, wenn sich unsere Aufmerksamkeit unendlich entfernten Objecten zuwendet; denn in unendlicher Entfernung treffen unsere parallelen Blicklinien in einem einzigen Blickpunkte zusammen. Bei gesenktem Blick bieten sich dagegen in der Regel nur nähere Gegenstände unserer Betrachtung dar. Jene Stellungsänderung entspricht also den in der gewöhnlichen Anordnung der Gesichtsobjecte gegebenen Anforderungen. Zugleich ist sie aber in den mechanischen Gesetzen der Augenbewegungen begründet. Dies beweist eben der Umstand, dass sie auch dann unwillkürlich eintritt, wenn uns durchaus keine nahen Gegenstände zur Fixation geboten werden. Ueberdies führt sie, wie früher hervorgehoben, zu constanten Täuschungen über die Richtung verticaler Linien, denen wir bei monocularer Betrachtung ausgesetzt sind (S. 561).

Alle Convergenzstellungen zerfallen ferner in symmetrische und in asymmetrische. Die ersteren sind solche, in denen beide Gesichtslinien von der gerade nach vorn gerichteten Parallelstellung aus um gleich viel nach innen gedreht sind; der Blickpunkt liegt bei ihnen stets in der Medianebene. Asymmetrisch sind diejenigen, bei denen sich der Blickpunkt nicht in der Medianebene befindet; dabei sind entweder beide Augen von der gerade nach vorn gerichteten Parallelstellung aus um ungleiche Winkel nach innen, oder es ist nur das eine Auge nach innen, das andere um einen kleineren Winkel nach außen gedreht. Diese Convergenzbewegungen sind in jeder Höhenstellung der Gesichtslinien möglich. Aber wie die Parallelstellung bei gesenktem Blick unwillkürlich in Convergenz übergeht, so streben jene bei der Erhebung des Blicks der Parallelstellung zu, so dass sie sich ohne unser Wissen und Wollen vermindern. Auch dies beruht auf den schon erörterten Gesetzen der Augenbewegung, nach denen die Convergenz bei geneigter Blicklinie mechanisch erleichtert ist.

Bei den seitlichen Parallelbewegungen drehen sich beide Gesichtslinien um gleiche Winkel nach rechts oder links; bei den symmetrischen

Convergenzbewegungen drehen sie sich um gleiche Winkel nach innen oder außen. Jenem entspricht eine Seitenverschiebung, diesem eine Tiefenverschiebung des gemeinsamen Blickpunktes. Nun kann sich aber dieser auch gleichzeitig nach der Seite und nach der Tiefe verschieben: dem entspricht die asymmetrische Convergenzstellung. Sie lässt sich demnach aus einer seitlichen Parallelbewegung und aus einer symmetrischen Convergenz zusammengesetzt denken. In der That würde das Auge aus einer Anfangsstellung mit gerade nach vorn gerichteten Blicklinien ($\varrho\, r$, $\lambda\, l$ Fig. 282) in jede asymmetrische Convergenz von gleicher Höhenstellung so übergehen können, dass es zuerst eine parallele Seitwärtswendung (in die Lage $\varrho\, r''$, $\lambda\, l''$) ausführte, durch welche der Fixationspunkt a in die Mitte zwischen beide Gesichtslinien gebracht würde, worauf dann in dieser Seitenstellung eine symmetrische Convergenz erfolgte ($\varrho\, r'''$, $\lambda\, l'''$). Obgleich wir nun in Wirklichkeit diese doppelte Bewegung nicht ausführen, sondern unmittelbar etwa von einem Punkte α auf den Punkt a übergehen, so ist doch höchst wahrscheinlich die Innervation in solcher Weise zusammengesetzt. Zunächst bemerkt man nämlich, dass bei asymmetrischer Convergenz gerade in demjenigen Auge, das am wenigsten aus seiner anfänglichen Ruhelage abgelenkt wurde, die Druckempfindung, die ausgiebige Augenbewegungen begleitet, am größten ist. So überwiegt, wenn die beiden Augen ϱ und λ auf den rechts gelegenen Punkt a eingestellt sind, die Druckempfindung im rechten Auge, obgleich dieses nur um den Winkel $r\varrho r'''$, das linke dagegen um den viel größeren $l\lambda l'''$ aus seiner Ruhelage abgelenkt ist. Ebenso ist die Druckempfindung im Auge ϱ bei der Einstellung auf den Punkt a größer, als wenn es in symmetrischer Convergenz auf α gerichtet ist, obgleich der Winkel $r\varrho r'''$ kleiner als $r'\varrho r$ ist. Noch mehr, verlegt man den Fixationspunkt a in der Richtung

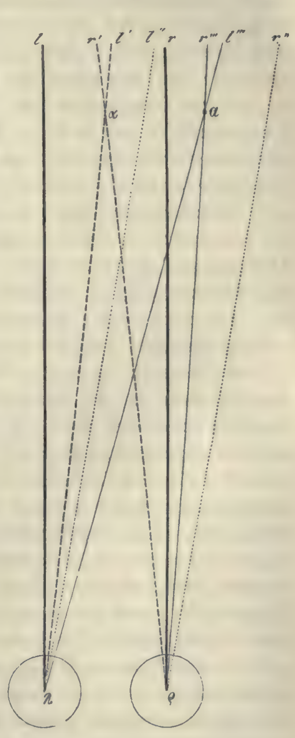


Fig. 282. Parallel- und Convergenzbewegung der Blicklinien.

der Linie $\varrho r'''$ in immer größere Ferne, so ist deutlich eine Verminderung der Druckempfindung in dem Auge ϱ bemerkbar, obgleich sich doch seine Stellung gar nicht verändert, und nur das Auge λ sich allmählich der Parallelstellung genähert hat. Hiermit hängt die von HERING gefundene Thatsache zusammen, dass das Drehungsmoment eines jeden Auges nach außen beim Sehen in die Nähe kleiner ist als beim Sehen in die Ferne[1]. Bei der Fixation eines nahe gelegenen seitlichen Punktes wird eben die Innervation zur Außenwendung immer theilweise compensirt durch die Innervation zur Convergenz. Daraus erklärt sich denn auch die erhöhte Druckempfindung. Sind die Augen ϱ und λ auf den Punkt a eingestellt, so ist in λ nur der Rectus internus innervirt, und die volle Innervationskraft desselben ist auf Innenwendung gerichtet. In ϱ dagegen empfängt der Rectus externus einen Impuls, der für sich das Auge nach $\varrho r''$ richten würde, doch ist ein Theil dieser Drehung compensirt durch die Innervation des Rectus internus, durch den es erst in seine wirkliche Richtung $\varrho r'''$ gebracht wird. Hier ist also eine Innervationsgröße, die dem Winkel $r''' \varrho r''$ entspricht, nicht auf wirkliche Bewegung, sondern zur Compensation der Muskelkräfte verwandt: sie muss daher als Druck auf den Augapfel zur Geltung kommen. Belehrend scheint mir auch der folgende Versuch zu sein. Man verdecke zunächst, während das eine Auge λ einen in der Medianebene gelegenen Punkt fixirt, das andere Auge ϱ mit einem Blatt Papier. Zieht man dann dieses Blatt plötzlich weg, so findet sich, dass sogleich beide Augen richtig auf den Punkt eingestellt sind; auch kann ein objectiver Beobachter bemerken, dass die Gesichtslinie des Auges ϱ schon während dieses bedeckt ist die Stellung $\varrho r'$ einnimmt, welche symmetrisch zu $\lambda l'$ ist. Fixire ich dagegen mit dem Auge λ einen seitlich gelegenen Punkt a, so sehe ich im ersten Moment, nachdem das bedeckende Blatt vor dem Auge ϱ weggenommen ist, immer Doppelbilder, weil die Gesichtslinie während der Bedeckung des Auges nicht die Stellung $\varrho r'''$ einnahm, sondern davon etwas nach außen gegen $\varrho r''$ abwich. Demnach begleitet das bedeckte Auge Einstellungen des andern auf einen in der Medianebene gelegenen Punkt in symmetrischer Convergenz. Ebenso macht es Hebungen und Senkungen der Blicklinie oder Seitwärtswendungen in paralleler Blickstellung mit. Dagegen stellt es sich in der Regel nicht auf den Fixationspunkt ein, wenn solches eine asymmetrische Convergenz erfordern würde, sondern es weicht in diesem Fall im Sinne der entsprechenden Parallelstellung ab. Die Mitbewegung des bedeckten Auges beweist an und für sich, dass beide Augen einer gemeinsamen Innervation folgen, welche nicht erst durch gemein-

[1] HERING, Die Lehre vom binocularen Sehen. 1868, S. 10 f. Physiologische Optik, in HERMANNS Handbuch, Bd. 3, I, S. 519 ff.

same Blickpunkte, denen sie sich zuwenden, zu stande kommt. Die Abweichung von der Einstellung auf den gemeinsamen Blickpunkt, die man bei der asymmetrischen Convergenz beobachtet, spricht aber dafür, dass hier ein complicirteres Verhältniss der Innervation stattfindet. In der That kann z. B. eine Linkswendung des linken Auges für das rechte Auge entweder eine gleich große Linkswendung erfordern: dies ist der Fall der einfachen Innervation für die Parallelstellung. Oder sie kann sich mit einer stärkeren Innenwendung desselben verbinden: bei asymmetrischer Convergenz. Ist nun das eine Auge verdeckt, so bleibt ihm zwischen beiden Fällen gleichsam die Wahl, und die Beobachtung lehrt, dass es dann der einfacheren Innervation folgt. Dieser Erfahrung entspricht es, dass, wo beide Augen sich ohne bestimmte Fixationspunkte bewegen, wie beim Neugeborenen, fast nur Parallelstellung vorkommt, weil bloß eine beschränkte Zahl von Convergenzstellungen, die symmetrischen nämlich, einer ähnlich einfachen Innervation gehorchen.

Somit existiren am Auge drei unter gewöhnlichen Verhältnissen unlösbare Verbindungen der Bewegung, die auf der gleichzeitigen centralen Innervation beider Sehorgane beruhen: Hebung und Senkung, Rechts- und Linkswendung, Innenwendung. Das Doppelauge gleicht in Bezug auf die Innigkeit dieser Verbindungen vollständig den symmetrisch wirkenden Muskelgruppen, wie denen der Athmung, des Schluckens. Die scheinbar größere Freiheit seiner Bewegungen beruht nur darauf, dass unter den drei Innervationen, die sie beherrschen, zwei sich theilweise entgegenwirken können, nämlich die für Rechts- und Linkswendung und die für Innenwendung. Die erste Innervation deutet auf eine centrale Verbindung des Rectus externus der einen mit dem internus der andern Seite, die letztere auf eine solche der beiden innern Muskeln mit einander. Die Innervation des Doppelauges ist aber von dem Gesetze beherrscht, dass sich die beiden Gesichtslinien normaler Weise jeweils auf einen einzigen Blickpunkt einstellen. Dies wäre nicht mehr der Fall, wenn dieselben in ungleichem Grade gehoben oder gesenkt würden, oder wenn sie divergirten. Solche Stellungen kommen daher bei normalen Augen nicht vor. Durch diese Gebundenheit der Augenbewegungen an die Möglichkeit eines gemeinsamen Blickpunktes wird jedoch keineswegs bewiesen, dass die gleichzeitige Einstellung auf bestimmte Punkte im Sehfeld der zwingende Grund für jenen Mechanismus der Innervation sei. In der That lässt sich dies, wenn man sich auf die Betrachtung der individuellen Entwicklung beschränkt, kaum voraussetzen. Der Neugeborene bewegt seine Augen ohne bestimmte Blickpunkte und in der Regel in Parallelstellungen[1]. Eben-

[1] J. MÜLLER, Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns, S. 293.

solche Bewegungen fand DONDERS bei einem Blindgeborenen[1]. Jedenfalls sind also die Bewegungsgesetze schon klar ausgeprägt, ehe sich deutliche Anzeichen einer Gesichtswahrnehmung gewinnen lassen. Es gibt freilich Thiere, bei denen sogleich nach der Geburt Gesichtsvorstellungen vorhanden zu sein scheinen. Aber der centrale Mechanismus der Innervation ist schon in dem Embryo angelegt. Wenn also zwischen ihm und der Bildung der Wahrnehmungen ein Causalverhältniss besteht, wie nicht zu verkennen ist, so müssen bei der individuellen Entwicklung die Gesetze der Innervation das Bedingende, die Vorstellungen das Bedingte sein. Dies schließt natürlich nicht aus, dass sich bei der Entwicklung der Art umgekehrt die centralen Vorrichtungen für die Innervation des Doppelauges unter der Leitung der Gesichtswahrnehmungen ausgebildet haben. Bei den meisten Thieren sind, wie schon J. MÜLLER[2] bemerkt hat, die beiden Augen in functioneller Beziehung unabhängiger von einander als beim Menschen, weil ihnen ein gemeinsames Gesichtsfeld fehlt, oder weil dieses von beschränkterer Ausdehnung ist. Thiere mit vollkommen seitlich gestellten Augen sehen daher auch nicht gleichzeitig mit beiden, sondern abwechselnd mit dem einen und andern. Deshalb sind hier die Augen in Bezug auf ihre motorische Innervation unabhängiger von einander[3]. In der Entwicklung der Art werden also erst mit der Ausbildung eines gemeinsamen Gesichtsfeldes die centralen Verbindungen zu gemeinsamer Innervation entstanden sein. Diese Verbindungen haben jedoch, wie der Einfluss der Lichteindrücke auf die Bewegungen des Auges lehrt, die nächste Aehnlichkeit mit denjenigen, welche die Reflexbewegungen beherrschen; sie scheinen nur mit einer viel genaueren Regulation verbunden zu sein, als z. B. der Reflexmechanismus des Rückenmarks. Die Beobachtung zeigt nämlich, dass von jedem Lichteindruck ein gewisser Antrieb zur Bewegung des Auges ausgeht. So bedarf es bekanntlich besonderer Anstrengung und Uebung, einen imaginären Blickpunkt zu wählen, d. h. einen solchen, dem kein reeller Objectpunkt entspricht. Bei diesen Reflexverbindungen zwischen Netzhauteindrücken und Augen-

---

[1] DONDERS, PFLÜGERS Archiv, Bd. 13, 1876, S. 383. In andern Fällen wurden jedoch bei Blindgeborenen unregelmäßige und anscheinend völlig von einander unabhängige Bewegungen der beiden Augen beobachtet (VON HIPPEL, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 21, 2, 1875, S. 104, 122). Ebensolche kommen bei seit längerer Zeit Erblindeten vor. Nach erfolgreicher Operation Blindgeborener pflegen sich mit der Entwicklung der binocularen Gesichtswahrnehmungen auch die Augenbewegungen in normaler Weise zu associiren. Vgl. den Schluss dieses Capitels (6, b).

[2] A. a. O. S. 99 f.

[3] Dies lässt sich z. B. sehr deutlich am Chamäleon wegen seiner hervorstehenden Augen beobachten: während sich das eine nach oben oder vorn wendet, kann das andere nach unten oder hinten gerichtet sein, u. s. w. Vgl. hierzu die Bemerkungen über die Beziehung der totalen und der partiellen Sehnervenkreuzungen zu den binocularen Augenbewegungen Bd. 1, S. 229 ff.

bewegungen handelt es sich demnach offenbar um einen jener complicirten Reflexe, als deren Centren wir die Hirnganglien, namentlich Seh- und Vierhügel, kennen lernten (Bd. 1, S. 259 ff.). Die nächste Analogie hat aber wohl diese Lenkung der Augenbewegungen durch die Lichteindrücke mit der Beziehung der Ortsbewegungen zu den Tastempfindungen. Nur scheint beim Auge die Verbindung eine noch festere, darum dem einfachen Reflex verwandtere zu sein, ähnlich wie auch die bilaterale Symmetrie der Bewegungen strenger eingehalten ist als bei den Organen der Ortsbewegung. Man gebe z. B. dem Doppelauge zunächst einen imaginären Blickpunkt, was am leichtesten gelingt, wenn man nach einer fernen Fläche starrt und dann irgendwo vor derselben die Blicklinien zur Convergenz bringt. Ist die ferne Fläche eine Tapete, so lässt sich aus der scheinbaren Verkleinerung des Musters derselben die Entfernung des vor ihr gelegenen Convergenzpunktes annähernd ermessen. Bringt man dann in geringe Distanz vor oder hinter jenem imaginären Blickpunkt ein reelles Object, z. B. einen Finger, so tritt augenblicklich ein fast unwiderstehlicher Zwang ein, auf dieses Object den Blickpunkt zu verlegen. Dieser Zwang, der nur durch Willensanstrengung unterdrückt werden kann, ist um so größer, je näher das Object an den Blickpunkt herangebracht wird. Noch deutlicher ist derselbe zu bemerken, wenn man in einem dunklen Raum ein Fixationsobject, z. B. eine Stricknadel, aufstellt, in dessen Richtung beide Augen blicken, und dann durch einen instantanen elektrischen Funken erleuchtet. Hier ist der Zwang zur Einstellung des Blickpunktes auf das gesehene Object so stark, dass er kaum durch Willensanstrengung zu unterdrücken ist.

Aus diesen Beobachtungen geht hervor, dass jeder Lichteindruck auf die Netzhaut in dem Innervationscentrum des Auges einen Reflexantrieb auslöst, der dahin gerichtet ist den Eindruck auf das Netzhautcentrum überzuführen. Hieraus erklärt sich vollständig das Grundgesetz der Innervation des Doppelauges, *dass nur solche Bewegungen der beiden Blicklinien stattfinden, bei denen ein gemeinsamer Blickpunkt möglich ist.* Jene Antriebe zur Bewegung können aber entweder eine wirkliche Bewegung hervorbringen, wo dann das Doppelauge den erregenden Lichteindruck zum Fixationspunkte wählt, oder sie können, sei es durch den Willen, sei es durch andere Lichteindrücke, die eine entgegengesetzte Wirkung ausüben, unterdrückt werden, so dass sie als ein bloßes Streben nach Bewegung fortdauern. Der hemmende Einfluss des Willens wird dabei durch denjenigen anderer Lichteindrücke wesentlich unterstützt. Das gewöhnliche willkürliche Wandern des Blicks ist daher nur dadurch möglich, dass immer zahlreiche Lichtreize in ihren Wirkungen sich compensiren, so dass der geringste Impuls des Willens genügt, eine

bestimmte Bewegung zu erzeugen. Damit erklärt sich denn auch die außerordentliche Beweglichkeit des Blicks, die von so schwachen Willensanstößen geleitet wird, dass diese nur dunkel zum Bewusstsein kommen. Hierbei durchmisst der Blick mit Vorliebe Conturen und Linien im Sehfeld, gemäß dem Gesetze, dass diejenigen Eindrücke, die dem jeweiligen Blickpunkt am nächsten liegen, den stärksten Antrieb ausüben.

Auf den zwingenden Einfluss der Gesichtsobjecte auf die Orientirung des Auges ist es wohl auch zurückzuführen, dass unter gewissen Bedingungen beide Augen abnorme Rollungen um ihre Gesichtslinien erfahren oder abweichende Höhenstellungen annehmen können. Wenn man z. B. zwei identische Zeichnungen binocular zur Deckung bringt und dann die eine etwas um den Fixationspunkt dreht, so kann durch Rollungen, an denen sich beide Augen betheiligen, diese Drehung compensirt werden. Auf diese Weise kann jedes einzelne Auge bis zu 5—7° aus seiner normalen Lage abweichen. Auf solchen compensirenden Drehungen beruhen wohl auch die oben (S. 561) erwähnten Schwankungen in der Lage der scheinbar verticalen Netzhautmeridiane, welche DONDERS beobachtete. Abweichende Höhenstellungen lassen sich ferner durch schwach ablenkende Prismen herbeiführen. Bringt man z. B. vor das eine Auge ein Prisma, dessen Basis nach oben oder unten gekehrt ist, so erscheint der fixirte Punkt in über einander liegenden Doppelbildern, die man mit einiger Anstrengung zum Verschmelzen bringen kann; ebenso wenn beide Augen durch Prismen sehen, deren Basis nach innen gekehrt ist, wo die Doppelbilder nur durch eine Divergenzstellung zur Verschmelzung gelangen können. Diese durch den Zwang der Gesichtsobjecte veranlassten Stellungsänderungen, die man als »Fusionsbewegungen« bezeichnet, können aber nicht bloß Abweichungen von der normalen Synergie hervorbringen, sondern auch umgekehrt da, wo die letztere gestört ist, bei geringeren Graden des Schielens, richtige Einstellungen erzwingen, daher solche durch schwach ablenkende Prismen unterstützte binoculare Einstellungen praktisch als Mittel zur Wiederherstellung einer gestörten Synergie benutzt werden[1].

b. Convergenz und Accommodation.

Mit den Convergenz- und Divergenzbewegungen der Blicklinien sind, wie schon J. MÜLLER beobachtete, Aenderungen des Accommodationszustandes regelmäßig verbunden, indem beide Augen derjenigen Entfernung sich anpassen, auf die der gemeinsame Blickpunkt eingestellt

---

[1] HELMHOLTZ, Physiologische Optik[1], S. 475, [2] S. 632. A. GRAEFE, in GRAEFE und SÄMISCH, Handbuch der Augenheilkunde[2], Bd. 8, S. 38 ff. HOFMANN und BILSCHOWSKY, PFLÜGERS Archiv, Bd. 80, 1900, S. 1 ff.

wird[1]. Allerdings ist auch dieser Zusammenhang kein unlösbarer, sondern es kann durch Veränderungen des Brechungszustandes oder durch absichtliche Einübung das Verhältniss von Accommodation und Convergenz ziemlich bedeutende Verschiebungen erfahren. Wenn man z. B. durch schwache Prismen mit vertical gestellter brechender Kante Doppelbilder der gesehenen Gegenstände erzeugt, die eine verstärkte Convergenz zu ihrer Vereinigung erfordern, so kann trotzdem die Accommodation der Entfernung der Objecte angepasst werden[2]. Dabei erfolgt aber auch diese abnorme Einstellung nicht sowohl durch einen directen Willenseinfluss, als vielmehr durch einen Zwang, den undeutlich gesehene Conturen auf den Accommodationsmechanismus ausüben, so dass sich wohl die Entstehung der normalen Synergie zwischen Accommodation und Convergenz ebenfalls auf den doppelten Zwang zurückführen lässt, den einerseits das Object auf die Blickbewegung, und den anderseits der diffuse Eindruck desselben auf die Accommodationsbewegung äußert[3]. Uebrigens gelingt es im allgemeinen viel schwerer, die Refractionszustände beider Augen unabhängig von einander zu ändern, als die Verbindung von Accommodation und Convergenz zu lösen. Hieraus ist zu schließen, dass die Accommodationsbewegungen beider Augen durch einen festeren Innervationsmechanismus verbunden sind als die Accommodation und die Convergenz. Aus dem so entstehenden Zusammenwirken dieser in der Regel automatisch thätigen Innervationscentren erklärt es sich aber, dass, wenn das eine Auge verdeckt oder geschlossen ist, normaler Weise die Blicklinie und die Refraction des nicht sehenden Auges sich gleichzeitig auf den Fixir- und Accommodationspunkt des sehenden Auges einstellen.

Führt man nun solche Versuche mit bloß monocularer Fixation unter verschiedenen Bedingungen aus, so ergibt sich, dass jene Verbindung insofern eine doppelseitige ist, als sowohl die Convergenz auf die Accommodation wie umgekehrt diese auf jene einwirken kann. Dabei ist aber im allgemeinen der Convergenzmechanismus unter beiden der empfindlichere, und demgemäß stellt sich die Accommodation genauer nach einem bestimmt fixirten Convergenzzustand ein, als umgekehrt die Convergenz nach der Accommodation. Die im Grundriss angedeuteten Versuchsanordnungen *A* und *B* in Fig. 283 bieten die Möglichkeit, in diesem Sinne die Bedingungen zu verändern. Ein dünner Seidenfaden *F* ist an einem in der Höhe ausgespannten, dem Beobachter unsichtbaren Draht zwischen diesem und einer entfernten weißen Wand *W* so

---

[1] J. Müller, Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns, S. 207 f.

[2] Donders, Holländische Beiträge, Bd. 1, S. 379. Helmholtz, Physiologische Optik, S. 474.

[3] Wundt, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, S. 119 f.

aufgehängt, dass er an einer Millimetertheilung beliebig genähert oder weiter entfernt werden kann. Die Anordnung *A* ist so getroffen, dass sich der Faden in der Richtung des verticalen Netzhautmeridians des gerade nach vorn blickenden Auges *L* bewegt. Dieses Auge blickt durch eine kurze enge Röhre in dem Schirm *S*, der das andere Auge *R* verdeckt. Ein beweglicher Schirm *T*, der in der Figur zur Seite geschoben ist, dient dazu, auch das Auge *L* für einen Moment während der Verschiebung des Fadens *F* zu verdecken. Selbstverständlich ist übrigens der Gesichtswinkel des Fadens so klein, dass die Aenderungen desselben erheblich unter der oben (S. 503) erwähnten Raumschwelle bleiben, und dass also Veränderungen in der Distanz des Fadens vom Auge weder an den Aenderungen des Gesichtswinkels noch, da das Netzhautbild bei dieser Versuchsanordnung seine Lage beibehält, an einer Bewegung des Bildes

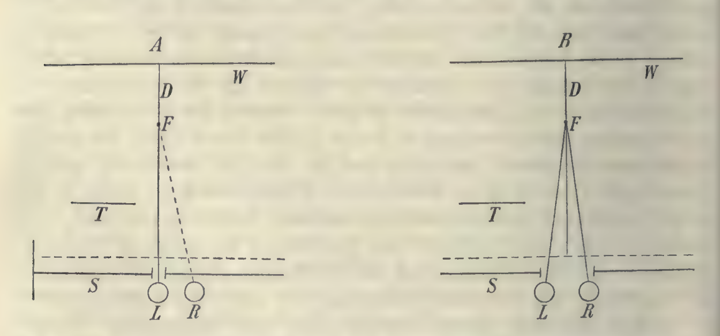


Fig. 283. Versuchsanordnungen für Accommodations- und Convergenzunterscheidungen.

auf der Netzhaut erkannt werden können. Da nun in Folge dessen der äußere Muskelapparat des fixirenden Auges *L* in Ruhe bleibt, so kann von ihm kein Antrieb zu verstärkter oder verminderter Convergenz auf das andere Auge *R* ausgehen. Trotzdem beobachtet man, dass auch in diesem Fall *R* seine Blicklinie annähernd entsprechend der Entfernung des fixirten Punktes *F* einstellt. Dies kann also nur dadurch geschehen, dass die Accommodation von *L* zunächst die von *R* und dann diese wieder, gemäß der regulären Innervationsverbindung, die Convergenz von *R* bestimmt. Hieraus ergibt sich, dass die Verbindung zwischen beiden Einstellungapparaten nicht bloß in der Richtung von der Convergenz zur Accommodation, sondern auch umgekehrt in der von der Accommodation zur Convergenz wirksam ist.

Wesentlich anders liegen die Versuchsbedingungen bei der Anordnung *B*. Hier blicken beide Augen durch einen Schlitz des Schirmes *S* nach dem in der Sagittalebene des Kopfes verschiebbaren Faden *F* und sind daher auf diesen in symmetrischer Convergenz eingestellt. Der bewegliche Schirm *T* kann auch hier in jedem Augenblick den Faden verdecken, bevor Translationen desselben vorgenommen werden. Wieder gehen in diesem Fall Accommodation und Convergenz zusammen. Die Einstellung beider ist aber zugleich eine präcisere und raschere als bei der Anordnung *A*. Obgleich also allem Anscheine nach die Innervationsverbindung in der einen wie in der andern Richtung wirken kann, so ist doch offenbar die Wirkung der Convergenz auf die Accommodation die sicherere und exactere. Stellt man nun bei diesen Anordnungen Versuche über die Unterschiedsschwelle für Distanzänderungen des Fadens an, indem man die zu vergleichenden Einstellungen jedesmal wieder durch Vorschieben des beweglichen Schirms *T* von einander trennt, so sind natürlich in *B* die Bedingungen wesentlich andere als in *A*, und demnach zeigen auch die Ergebnisse sehr große Unterschiede, wie die beiden folgenden Versuchsreihen zeigen. In denselben bezeichnet *S* die Entfernung des Fadens vom Beobachter in cm, *U* die absolute Unterschiedsschwelle. Bei den Convergenzversuchen *B* gibt ferner *s* die zu *S* gehörigen Werthe des Winkels an, den die Blicklinie mit der horizontalen Verbindungslinie beider Drehpunkte bildet, *u* die aus *U* berechneten Winkelwerthe, und *v* endlich die relativen Unterschiedsschwellen.

A		*B*				
S	*U*	*S*	*s*	*U*	*u*	*v*
250	12	180	89° 2,5′	3.5	68″	1/50
220	10	170	88° 59′	3	66″	1/55
200	8	160	88° 55.5′	3	73″	1/54
180	8	150	88° 51′	3	85″	1/48
100	8	130	88° 40,5′	2	74″	1/64
80	5	110	88° 26′	2	104″	1/54
50	4.5	80	87° 51′	2	199″	1/39
40	4.5	70	87° 32,5′	1,5	193″	1/45
		60	86° 34′	1	252″	1/50

Entscheidend für die Deutung dieser Ergebnisse sind nun theils die subjectiven Beobachtungen bei den Versuchen, theils aber auch die aus den beidemal gewonnenen Unterschiedsschwellen zu ziehenden Schlüsse. Subjectiv nimmt man zunächst wahr, dass die *A*-Versuche anstrengender sind als die *B*-Versuche. Bei beiden hat man bestimmte Empfindungen im Auge, die bei *A* deutlich an die Accommodationsanstrengung, bei *B* mehr an die Convergenzstellung geknüpft zu sein scheinen. Auch in den *B*-Versuchen bemerkt man aber weder Doppel-

bilder noch eine Dislocation des Netzhautbildes: beides wird offenbar dadurch ausgeschlossen, dass die Versuche durch das Vorschieben des Schirms *T* den Charakter sogenannter »Gedächtnissversuche« mit sehr kurzer Zwischenzeit zwischen den zu vergleichenden Eindrücken gewinnen. Am schlagendsten zeigen jedoch die Ergebnisse der Versuche selbst, dass bei ihnen Bildverschiebungen oder Doppelbilder keine maßgebende Rolle spielen können, da in diesem Fall der Gang der Unterschiedsschwelle bei den *B*-Versuchen ein völlig anderer sein müsste, als er wirklich ist. Die Unterschiedsschwelle für Netzhautdistanzen im directen Sehen ist nämlich eine von der Tiefenentfernung der Objecte an sich unabhängige, lediglich durch die Werthe der Sehschärfe (S. 503 f.) bestimmte Größe. Demnach müssten die Schwellenwerthe u für alle Distanzen mindestens annähernd von absolut gleicher Größe sein, und sie müssten den bekannten Schwellenwerthen der Sehschärfe etwa gleichkommen. In Wahrheit sind aber die Schwellen u durchaus nicht constant, sondern sie nehmen enorm zu mit wachsender Annäherung. Auch gibt es nur einen einzigen Fall, wo sie mit den Schwellenwerthen der Sehschärfe wirklich annähernd übereinstimmen: nämlich bei den größten Entfernungen, wo der Convergenzgrad ein minimaler ist, und wo $u = 68''$ mit dem nach der gewöhnlichen Methode gewonnenen Sehschärfenwinkel von 60—90″ gut übereinstimmt. Dazu kommt ein anderes sehr bemerkenswerthes Ergebniss: die *B*-Versuche zeigen nämlich erstens eine Constanz nicht der absoluten, sondern der relativen Unterschiedsschwellen, in Uebereinstimmung mit dem WEBER'schen Gesetze; und die Unterschiedsconstante, die sie ergeben, stimmt zweitens überein mit der nach der gleichen Methode der minimalen Aenderungen gewonnenen Unterschiedsconstante für Vergleichung linearer Distanzen nach dem Augenmaß (S. 543). Daraus ist zu schließen, dass es die intensiv abgestuften, in die Classe der inneren Tastempfindungen (Gelenk- und Muskelempfindungen) gehörenden Convergenzempfindungen sind, welche bei den angeführten binocularen Sehversuchen die Unterscheidung der Tiefendistanzen vermitteln, und dass sich bei den Augenmaßversuchen nach den gleichen Empfindungen die Genauigkeit der Distanzvergleichungen richtet. Bei monocularem Sehen tritt dann wahrscheinlich in einem gewissen, wenngleich sehr unvollkommenen Grade die Accommodationsanstrengung als Ersatz ein, die aber regelmäßig zugleich an der in Folge der Synergie zwischen Accommodation und Convergenz eintretenden Convergenzänderung eine Unterstützung gewinnt.

Unter dem Einfluss der Lehre, dass die Localisationen der Gesichtsobjecte schlechthin unabhängig erfolgten von den die Bewegungen des Auges begleitenden Empfindungen, die sie überhaupt leugnen, nehmen HERING und seine

Schüler auch für die Beziehungen zwischen Convergenz und Accommodation nur einen einseitigen, von der Convergenz zur Accommodation, niemals umgekehrt von dieser zu jener gerichteten Zusammenhang an. Es scheint mir aber, dass die bei der obigen Versuchsanordnung *A* zu beobachtenden Erscheinungen eine solche Wechselbeziehung unzweideutig beweisen, während sie allerdings zusammengehalten mit den *B*-Versuchen für das normale Uebergewicht der Convergenzeinflüsse sprechen, wie ein solches nach Beobachtungen am atropinisirten Auge und bei Schielstörungen auch A. Graefe annahm[1]. Auf Grund der Hering'schen Anschauungen suchte dagegen F. Hillebrand die obigen Versuche durch die Voraussetzung zu interpretiren, dass bei der *A*-Anordnung das wirksame Motiv die Convergenzbewegung, bei der *B*-Anordnung die Disparation der Netzhautbilder sei. Bei den ersteren hielt er dann, neben den (durch die Versuchsweise, wie oben bemerkt, ausgeschlossenen) Aenderungen des Gesichtswinkels, den »Willen« zur Einstellung der Blicklinien auf einen bestimmten Punkt des Sehraums für das ausschlaggebende Motiv[2]. In Versuchen, die er an zahlreichen Beobachtern ausführte, fand dann hinwiederum M. Arrer die obigen Ergebnisse meiner älteren Versuche, und namentlich auch die aus der Disparation der Netzhautbilder nicht zu erklärende Constanz der relativen Unterschiedsschwelle, bei verhältnissmäßig geringen Unterschieden in dem Werthe der letzteren, bestätigt[3]. Gänzlich außer Rücksicht scheint endlich bei den die Tiefenvorstellungen ausschließlich aus dem Binocularsehen ableitenden Theorien der vergleichend physiologische Gesichtspunkt geblieben zu sein. Hier ist es denn doch beachtenswerth, dass unter den Vögeln gerade diejenigen, die durch die raumdurchdringende Kraft ihres Sehorgans vor andern sich auszeichnen, bei ihren seitlich gestellten Augen der binocularen Synergie offenbar entbehren, dafür aber in Folge der stark deformirbaren, massigen Linse und der Ausbildung des zugehörigen, aus quergestreiften Fibrillen bestehenden Muskelapparats über einen hoch ausgebildeten Accommodationsmechanismus verfügen[4].

---

[1] Graefe, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 35, 1, 1888, S. 137. 4, S. 332 ff. Landolt, ebend. 3, S. 265 ff.

[2] F. Hillebrand, Zeitschrift für Psychologie, Bd. 7, S. 97. Bd. 16, S. 104.

[3] Wundt, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, S. 114, 194. M. Arrer, Philos. Stud. Bd. 13, 1896, S. 116, 222 ff. Vgl. dazu meine Bemerkungen Philos. Stud. Bd. 14, 1898, S. 13. Im wesentlichen zu denselben Ergebnissen, namentlich mit Rücksicht auf die Zunahme der absoluten Unterschiedsschwelle mit wachsender Annäherung, kam auch Bourdon bei Versuchen, bei denen er durch mehrere irreguläre Blickbewegungen, die zwischen die einzelnen Versuche eingeschaltet waren, den Einfluss einer Disparation der Netzhautbilder zu eliminiren suchte. (Bourdon, La perception visuelle de l'espace, 1902, p. 234.) Hilcker fand, als er nach der Anordnung *A* Beobachtungen an zahlreichen Individuen mit abnormen Brechungszuständen der Augen ausführte, dass durch die letzteren, ebenso wie durch vorangegangene Ermüdung der Accommodation, die Unterschiedsempfindlichkeit bedeutend beeinträchtigt wird, was ebenfalls für einen directen Einfluss der Accommodationsanstrengung in diesem Falle spricht. (Hilcker, Versuche über die Fähigkeit der Schätzung nach der Tiefendimension. Dissert. Marburg. 1889.)

[4] R. Berlin, Zeitschrift für vergl. Augenheilkunde, Bd. 7, 1891, S. 22.

c. Einfluss der binocularen Blickbewegungen auf die Localisation im Sehfeld.

Wenn beide Blicklinien einander parallel in unendliche Ferne gerichtet sind, so haben sie einen gemeinsamen Blickpunkt. Außerdem sind die Netzhautbilder in beiden Augen identisch und von übereinstimmender Lage. Ein Bildpunkt, der sich im rechten Auge um einen bestimmten Winkel nach rechts oder links, nach oben oder unten von der Netzhautmitte befindet, liegt im linken auf der nämlichen Seite und ebenso weit vom Centrum des gelben Flecks. Je zwei Punkte beider Netzhäute, auf denen so bei der Parallelstellung der Augen Bildpunkte liegen, die einem und demselben Punkte eines unendlich entfernten Objectes entsprechen, pflegt man seit JOH. MÜLLER identische oder correspondirende Punkte zu nennen. HELMHOLTZ hat statt dessen den Ausdruck Deckpunkte vorgeschlagen, dabei aber von der Lage ganz abstrahirt und nur auf die häufigste Form der Verschmelzung der Eindrücke Rücksicht genommen; darum entsprechen die von HELMHOLTZ angenommenen Deckpunkte nicht vollkommen den identischen Punkten MÜLLERS[1]. Man sieht aber, dass bei diesen Bezeichnungen zwei Begriffe in einander laufen, die der deutlichen Sonderung bedürfen: ein anatomischer, der sich lediglich auf die Lage der Punkte, und ein physiologischer, der sich auf die gewöhnlichste Form der Verschmelzung der Eindrücke bezieht. Es scheint daher wünschenswerth, diese zwei Begriffe durch verschiedene Bezeichnungen aus einander zu halten und außerdem noch einen dritten zu unterscheiden. Wir wollen demnach 1) identisch jene Netzhautpunkte nennen, die bei der Parallelstellung der Augen eine übereinstimmende Lage in Bezug auf das Netzhautcentrum besitzen, und die zugleich übereinstimmenden Bildpunkten eines unendlich entfernten Objects entsprechen. 2) Correspondirende Punkte seien solche, deren Eindrücke am häufigsten in eine räumlich ungetheilte Vorstellung verschmelzen, und die daher in Folge dieser häufigen Verbindung in Bezug auf die einfache Auffassung bevorzugt sind. 3) Deckpunkte sollen endlich diejenigen Punkte heißen, deren Eindrücke im gegebenen Fall auf einen äußeren Punkt bezogen werden. Somit sind die correspondirenden Punkte sehr oft zugleich die Deckpunkte; sie sind dies aber nicht immer, und hieraus entspringt die Nothwendigkeit einer besonderen Bezeichnung. Die identischen Punkte haben für alle normalen Augen unveränderlich dieselbe Lage. Die correspondirenden sind geringen individuellen Schwankungen unterworfen: sie fallen bald mehr bald weniger nahe mit den identischen Punkten

[1] HELMHOLTZ, Physiologische Optik[1], S. 698, [2] S. 844.

zusammen, für ein und dasselbe Individuum aber sind sie im allgemeinen constant. Die Lage der Deckpunkte dagegen wechselt von einem Sehact zum andern, und nur durch die gewöhnlichen Bedingungen des Sehens sind der wechselseitigen Verschiebung der Deckpunkte gewisse Grenzen gesetzt. Netzhautpunkte von nicht übereinstimmender Lage heißen disparat; solche, deren Bilder sich nicht decken, wollen wir Doppelpunkte nennen. Disparat steht also zu identisch, der Doppelpunkt zum Deckpunkt im Gegensatz. Eine größere Anzahl von Doppelpunkten bildet ein Doppelbild. Dieses besteht aus zwei Halbbildern, deren jedes einem einzelnen Auge angehört. Aus vielen Deckpunkten setzt sich ein Deckbild oder Ganzbild zusammen. Da wir alle Netzhautbilder auf äußere Gegenstände beziehen, so ist es auch hier zweckmäßig, diese Bezeichnungen von der Netzhaut auf den äußeren Raum zu übertragen. Wir nennen also identische, correspondirende und Deckpunkte des Raumes solche Punkte, in denen sich die von identischen, correspondirenden und Deckpunkten beider Netzhäute gezogenen Visirlinien durchschneiden. Die Ebene, in welcher die beiden Visirlinien liegen, heißt dabei die Visirebene. Sind zwei zusammengehörige Visirlinien einander parallel, so liegt ihr Durchschnittspunkt in unendlicher Ferne. Bei Parallelstellungen durchschneiden sich also alle Visirlinien identischer Punkte in unendlicher Ferne. Einen einzigen Punkt im Sehfeld gibt es aber, der im normalen Auge immer gleichzeitig identischer, correspondirender Punkt und Deckpunkt ist: dies ist der Blickpunkt. Er ist der constante Durchschnittspunkt der beiden Gesichts- oder Blicklinien, mögen nun dieselben erst in unendlicher Entfernung, bei den Parallelstellungen des Blicks, oder in endlichen Entfernungen, bei den Convergenzstellungen, sich treffen. Was die übrigen Punkte des Sehfeldes betrifft, so kommt es theils auf die Augenstellung theils auf die Gestalt des Sehfeldes an, ob identische, correspondirende Punkte und Deckpunkte zusammenfallen oder nicht. Nun haben wir gesehen, dass die Form des Sehfeldes an und für sich eine unbestimmte ist und erst durch die Bewegungen des Blicks, also durch die successiven Verschiebungen im Blickfelde, eine bestimmte wird. Darum kommt, wo andere Bestimmungsgründe fehlen, das Sehfeld überein mit dem kugelförmigen Blickfeld. Dieses ist für das Doppelauge ebenfalls eine einzige Hohlkugelfläche, nämlich diejenige, welche der gemeinsame Blickpunkt in paralleler oder in einer beliebigen andern Augenstellung mit constant bleibendem Convergenzgrad durchwandern kann. Der Mittelpunkt dieser Kugelfläche ist der Halbirungspunkt der Geraden, welche die Drehpunkte beider Augen verbindet. Daher bestimmt das Doppelauge im allgemeinen von diesem Punkte aus, den wir den Orientirungspunkt nennen wollen, m Fig. 284, und nach den von ihm aus gezogenen Geraden,

den Orientirungslinien, die Richtung der Gegenstände. Die Entfernung $r\,l$ der beiden Visirpunkte wird dann die Grundlinie der Visirebene oder die Basaldistanz des Doppelauges genannt. Sie beträgt beim Menschen durchschnittlich etwa 6 cm. Ein binocular fixirter Punkt a erscheint uns demnach in der Richtung $m\,a$, so als wenn er von einem im Punkte m gelegenen einfachen Auge gesehen würde[1]. Diese Bestimmung der Richtungen, wie sie sich in Folge des binocularen Sehens ausgebildet hat, pflegt in der Regel sogar dann noch entscheidend zu bleiben, wenn wir das eine Auge verschließen. Fixirt man bei geschlossenem rechtem Auge mit dem linken l zuerst einen ferneren Punkt a' und dann den näheren a, so scheint daher, obgleich die Richtung der Blicklinie $l\,a$ ungeändert geblieben ist, der Punkt a nach links abzuweichen, was der Bewegung der mittleren Blickrichtung aus der Stellung $m\,a'$ nach $m\,a$ entspricht. Zugleich ändert sich hierbei die Rollung des Auges l im selben Sinne, wie sie sich ändern würde, wenn man bei binocularem Sehen von einer geringeren zu einer stärkeren Convergenz überginge[2].

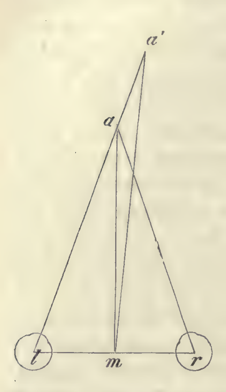


Fig. 284. Orientirungslinie im Sehraum.

Wenn Objecte von beliebiger Form sich im Sehfeld befinden, die successiv bei wechselnder Convergenz fixirt werden müssen, so bildet sich nun das Sehfeld des Doppelauges sichtlich unter dem unmittelbaren Einflusse der Convergenzbewegungen. Indem sich mit den wechselnden Convergenzgraden Empfindungen verbinden, die, wie wir oben sahen, ein innerhalb der Grenzen deutlicher Sehweite relativ scharfes Maß für die Entfernungsverhältnisse der successiv fixirten Punkte vom Sehenden enthalten, gewinnt das binoculare Sehfeld in der Regel annähernd diejenige

[1] HERING, Beiträge zur Physiologie, S. 35 ff. REICHERTS und DU BOIS-REYMONDS Archiv, 1864, S. 27 ff. Vgl. auch DONDERS, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 17, 2, 1871, S. 52.

[2] Uebrigens trifft diese Localisation in einer mittleren Sehrichtung nur für den Blickpunkt strenge zu, während bei den auf den Seitentheilen der Netzhaut gelegenen Punkten Abweichungen des Punktes m nach der Seite desjenigen Auges vorzukommen scheinen, auf dessen nasaler Netzhauthälfte das Bild liegt. (SCHOEN, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 22, 1, 1876, S. 31. Bd. 24, 1, 1878, S. 27.) Ferner beobachtete J. VON KRIES, dass bei unwillkürlichem Divergenzschielen, wenn die binoculare Fixation erhalten bleibt, ein Wettstreit der Sehrichtungen eintritt, wobei bald das eine bald das andere Auge überwiegen kann. So herrscht bei VON KRIES beim Nahesehen das linke, beim Fernsehen das rechte Auge vor. Demgemäß ist im ersten Fall das Centrum der Sehrichtungen nach links, im zweiten nach rechts verschoben. (Archiv für Ophthalmologie, Bd. 24, 4, 1878, S. 117.) Uebereinstimmend damit beobachtete ich bei mir selber, dass in Folge der Ausbildung eines centralen Skotoms in meinem rechten Auge die Orientirungslinie allmählich vollständig mit der Blicklinie des linken Auges zusammenfiel.

Form, in welcher die gesehenen Punkte wirklich im Verhältniss zum Sehenden angeordnet sind. Denken wir uns daher nach dem Sehfelde Visirlinien gezogen, so treffen je zwei, die sich auf der Sehfeldfläche schneiden, mögen dieselben nun von identischen oder disparaten Netzhautpunkten ausgehen, dort einen Deckpunkt. Denn für jedes Auge gibt die Visirlinie diejenige Richtung an, in der ein Bildpunkt nach außen verlegt wird, und das Sehfeld ist diejenige Oberfläche, auf der wir uns im äußeren Raume die Lichteindrücke geordnet vorstellen (S. 515 f.). Wenn demnach jene Richtungen im Sehfeld zusammentreffen, so müssen sich auch die Bildpunkte decken. Aber es ist natürlich nicht nothwendig, dass die sich schneidenden Visirlinien identischen Punkten angehören. Es sei z. B. (Fig. 285) das Sehfeld eine zur Visirebene senkrechte Ebene AB, und die Blicklinien ac, bc seien auf den Blickpunkt c eingestellt. Es ist dann der Punkt γ ein identischer Punkt des äußeren Raumes, denn in ihm treffen sich die Visirlinien identischer Netzhautpunkte α, β. Dagegen ist der Punkt δ ein Deckpunkt im Sehfeld: in ihm schneiden sich aber zwei Visirlinien, die von disparaten Punkten β, β' ausgehen. Geben wir jetzt dem Sehfeld die Lage $A'B'$, so wird der Punkt γ ein identischer und zugleich ein Deckpunkt. Und ebenso wie hier durch Veränderungen in der Lage oder Form des Sehfeldes, so kann natürlich auch durch veränderte Augenstellung das Verhältniss der Deckpunkte zu den identischen Punkten wechseln. Den Unterschied der beiden Winkel, den die zu einem und demselben Deckpunkt gehörigen Visirlinien, wie $\beta\gamma$ und $\beta'\gamma$, mit den Netzhautcentren bilden, kann man hiernach als die binoculare Parallaxe bezeichnen.

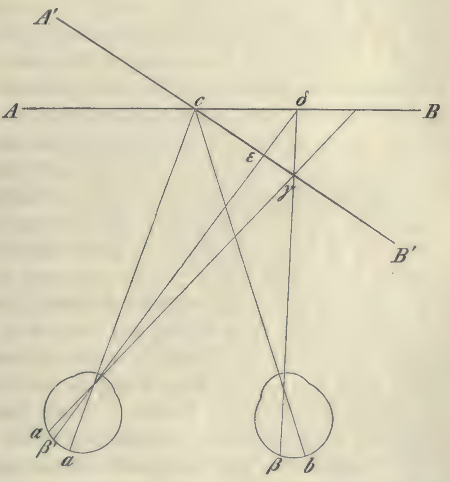


Fig. 285. Verhältniss der Deckpunkte zu den identischen Punkten im Sehfeld.

Da die Visirlinien, namentlich bei entfernteren Objecten, von den

Richtungsstrahlen nicht merklich verschieden sind, so sind die Deckpunkte dann zugleich Objectpunkte, wenn das subjective Sehfeld dieselbe Form hat, welche die dem Sehenden zugekehrte Oberfläche der Objecte darbietet. Es wurde schon oben bemerkt, dass dies im allgemeinen zwar der Fall ist, und deshalb sieht eben das Doppelauge in der Regel nicht doppelt sondern einfach. Aber dies schließt zahlreiche Abweichungen im einzelnen nicht aus, ja unter Umständen, wenn die gewöhnlichen Hülfsmittel versagen, können wir vollständig über das Lageverhältniss der Gegenstände getäuscht werden. Fällt nun unser subjectiv erzeugtes Sehfeld mit der objectiv gegebenen Oberfläche der Objecte nicht zusammen, so schneiden sich in irgend einem Punkte desselben im allgemeinen nur noch solche Visirlinien, die verschiedenen Objectpunkten angehören. Es sei z. B. die Ebene $A' B'$ (Fig. 285) unser Sehfeld, die Oberfläche der Objecte sei aber die Ebene $A B$, so entsprechen dem Objectpunkte δ zwei Punkte γ und ε im Sehfeld. In solchen Fällen wird dann in der That ein in Wirklichkeit einfacher Punkt doppelt gesehen. Nennen wir das Sehfeld in der bisher festgehaltenen Bedeutung, also diejenige Form desselben, die wir uns in Folge der Blickbewegungen und Convergenzempfindungen vorstellen, das subjective Sehfeld, und bezeichnen wir die wirkliche Form der uns zugekehrten Oberfläche der Gegenstände als das objective Sehfeld, so gilt daher die Regel: Wir sehen einfach, sobald das objective mit dem subjectiven Sehfeld übereinstimmt; diejenigen Punkte des objectiven Sehfeldes aber erscheinen uns doppelt, die nicht in dem subjectiven Sehfeld gelegen sind.

Das gewöhnlichste Mittel, das subjective übereinstimmend mit dem objectiven Sehfeld zu gestalten, wenn die unmittelbaren Empfindungen hierzu nicht ausreichen, besteht nun in der successiven binocularen Fixation verschiedener Punkte, wo wir das Zwischenliegende in annähernder Richtigkeit zur vollständigen Form ergänzen. Wenn das objective Sehfeld eine sehr verwickelte Form hat, so können daher einzelne Theile desselben dem ruhenden Auge doppelt erscheinen, dann aber durch einige Blickbewegungen leicht in eine einfache Vorstellung vereinigt werden, die jetzt auch für den ruhenden Blick einfach bleibt. Dies geschieht namentlich dann sehr leicht, wenn sich der Blick auf bestimmten Fixationslinien in wechselnder Convergenz zwischen Punkten von verschiedener Tiefenlage bewegen kann. Dagegen pflegt Doppelsehen einzutreten, wenn man einen Blickpunkt wählt, der von den übrigen Punkten des Sehfeldes vollständig getrennt ist, also vor oder hinter denselben liegt, ohne mit ihnen durch eine Fixationslinie verbunden zu sein. Befindet sich z. B. ein Object in a (Fig. 286), und sind die beiden Blicklinien auf den näher liegenden Punkt c eingestellt, so sieht man bei a_1 und a_2

Doppelbilder des Punktes a; davon gehört a_1 dem Auge r, a_2 dem Auge l an, wie man sich dadurch überzeugen kann, dass, wenn r geschlossen wird, a_1, wenn l geschlossen wird, a_2 verschwindet. Die Doppelbilder sind also in diesem Fall **gleichseitige**. Ist das Auge auf den ferner liegenden Punkt b eingestellt, so werden wieder statt des Objectes a Doppelbilder α_1 und α_2 gesehen: jetzt gehört aber α_2 dem Auge r, α_1 dem Auge l an, wie man abermals durch abwechselndes Schließen derselben erkennt. Die Doppelbilder sind also **ungleichseitige** oder **gekreuzte**. In allen diesen Fällen werden die Doppelbilder in der Regel nicht in die Entfernung des Blickpunktes b oder c, sondern in eine etwas variable, zwischen dem Blickpunkt und dem wirklichen Ort a des Objectes gelegene Distanz verlegt; nur bei länger andauernder starrer Fixation rücken sie anscheinend in die des Blickpunktes. Mit diesen Beobachtungen über die Lage der Doppelbilder stimmen auch die folgenden Erscheinungen überein. Wenn man im dunkeln Raum einen kleinen Lichtpunkt anbringt, der als Fixationszeichen dient, und dann bald vor bald hinter denselben ein Object hält, das durch einen momentanen elektrischen Funken erleuchtet wird, so erscheint während dieser Beleuchtung das Object in Doppelbildern. Aber, obgleich Blickbewegungen bei der kurzen Dauer der Beleuchtung ausgeschlossen sind, erkennen wir doch deutlich, ob sich das doppelt gesehene Object vor oder hinter dem Blickpunkte befindet[1]. Noch einfacher zeigt das nämliche der HERING'sche Fallversuch[2]. Man stelle, indem man mit beiden Augen durch eine Röhre sieht, welche die Wahrnehmung der seitlich gelegenen Objecte verhindert, auf einen bestimmten Fixationspunkt ein und lasse nun durch einen Gehülfen bald vor bald hinter demselben ein Kügelchen durch das Sehfeld fallen. Dann erkennt das normale Doppelauge deutlich, ob das Kügelchen vor oder hinter dem Fixationspunkt herabfällt, und es hat sogar eine annähernde, wenn auch ziemlich ungenaue Vorstellung von der absoluten Entfernung desselben. Bei Schielstörungen ist dagegen die Tiefen-

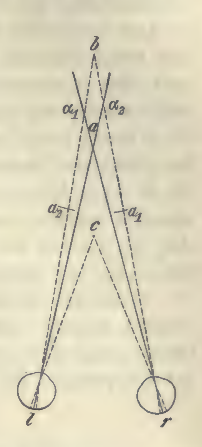


Fig. 286. Gleichseitige und gekreuzte Doppelbilder.

[1] DONDERS, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 17, 2, 1871, S. 17. VAN DER MEULEN, ebend. Bd. 19, 1, 1873, S. 105.

[2] HERING, REICHERTS und DU BOIS-REYMONDS Archiv, 1865, S. 153. VAN DER MEULEN, a. a. O.

unterscheidung bei diesem Fallversuch in der Regel beeinträchtigt, und derselbe wird daher in der Praxis auch zur Erkennung leichterer Grade der Insufficienz der Augenmuskeln angewandt. Wir besitzen demnach von der Anordnung der Objecte im Sehfeld eine annähernd richtige Vorstellung, auch wenn der Blick nicht wirklich zwischen ihnen hin- und herwandert; wohl aber ist erforderlich, dass der Convergenzmechanismus die zur normalen Ausführung dieser Bewegungen erforderliche Beschaffenheit besitze. Unter dieser Voraussetzung sind dann diese Beobachtungen nur Variationen der geläufigen Thatsache, dass, wenn Objecte im Sehbereich auftauchen, wir in jedem Moment genau wissen, in welcher Richtung wir unsere Augen bewegen müssen, um sie fixirend auf dieselben einzustellen, eine Kenntniss, die nur aus der Beziehung der Lichteindrücke zu der reflectorischen Innervation der Bewegungen des Auges abgeleitet werden kann.

Wenn nun in den beschriebenen Versuchen den Doppelbildern annähernd diejenige Entfernung angewiesen wird, die dem ihnen entsprechen- Object wirklich zukommt, so liegt es nahe zu fragen, warum überhaupt das Doppelauge bei normaler Beschaffenheit seines Bewegungsapparats immerhin in vielen Fällen die Objecte nicht einfach, sondern doppelt sieht. Auf diese Frage geben folgende Beobachtungen Auskunft. Man stelle (Fig. 287) beide Augen auf ein vertical gehaltenes Fixationsobject *ab* (z. B. eine Stricknadel) ein, so dass *ec* die Richtung der Visirebene ist. Dann bringe man nahe vor *ab* ein zweites ähnliches Fixationsobject *a'b'*. Man sieht jetzt *ab* einfach, *a'b'* aber in Doppelbildern. Hierauf entferne man *a'b'* und gebe *ab* eine geneigte Lage, so dass *a* an die Stelle von *b'* kommt. Es müsste nun, wenn fortan der Punkt *c* fixirt wird, *a* ebenso wie vorhin *b'* doppelt gesehen werden. Man bemerkt aber, falls man nur die Tiefendistanz *cb'* nicht zu groß nimmt, dass es in diesem Fall ausnehmend schwer wird, den Punkt *a* wirklich doppelt zu sehen. Dies gelingt nur bei längere Zeit festgehaltener starrer Fixation auf Augenblicke. Sonst erscheint das Object ebensowohl bei wanderndem Blick als bei momentaner Betrachtung einfach; zugleich fasst man aber deutlich seine geneigte Lage auf. Man zeichne ferner vier Quadrate wie in Fig. 288 *A*, und stelle beide Augen auf die zwei Mittelpunkte der kleinen Quadrate ein, so dass dieselben dauernd einfach gesehen werden. Es verschmelzen dann die mittleren Quadrate vollständig zu einer Vorstellung; der Effect ist hier derselbe, als wenn man binocular ein einziges Quadrat fixirte, das im Convergenzpunkt der beiden

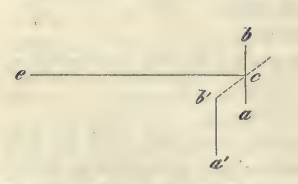


Fig. 287. Wirkung der Fixationslinien.

Blicklinien liegt. Die größeren Quadrate sieht man aber nicht einfach, sondern doppelt. Jetzt verbinde man, wie es in Fig. 288 *B* geschehen ist, die Eckpunkte eines jeden der kleinen Quadrate mit den ähnlich liegenden des größeren und fixire wiederum die Mittelpunkte. Nun erscheint plötzlich die ganze Figur einfach: sie gibt das körperliche Bild einer abgestumpften Pyramide; die kleinen Quadrate gehören der dem Beschauer zugekehrten abgestumpften Spitze, die großen der von ihm abgekehrten Grundfläche an. Zuweilen kommt es allerdings auch in diesem Falle vor, dass die größeren Quadrate samt den sie mit den

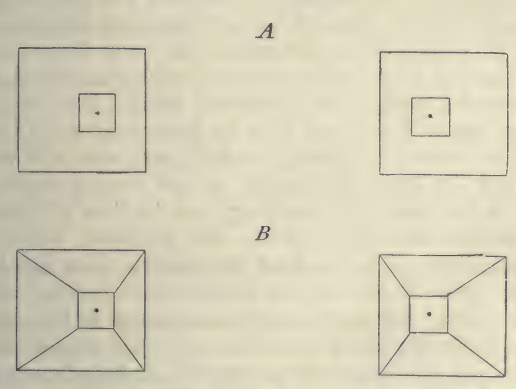


Fig. 288. Binoculare Bilder mit und ohne Fixationslinien.

kleineren verbindenden Linien bei starrer Fixation doppelt gesehen werden; dann verschwindet jedoch immer zugleich der vorige Eindruck der körperlichen Ausdehnung der Figur. Fixirt man in umgekehrter Weise, indem man den imaginären Blickpunkt vor die Ebene der Zeichnung verlegt und das rechte Auge auf den links, das linke auf den rechts gelegenen Punkt einstellt, so scheint in Fig. 288 *A* das einfach gesehene kleine Quadrat etwas über der Ebene der Zeichnung zu schweben, entsprechend der nahen Convergenzstellung, während die großen Quadrate in Doppelbildern erscheinen; in Fig. 288 *B* aber entsteht ein einfaches Gesammtbild, in dem jedoch das große Quadrat dem Auge näher zu liegen scheint, als das kleine: dieses Bild entspricht daher einer Hohlpyramide, deren Grundfläche dem Beschauer zugekehrt ist. Wer in der willkürlichen Fixation getrennter Punkte mit beiden Augen nicht geübt ist, wird leicht durch Einlegen der Zeichnung in ein gewöhnliches Prismenstereoskop die erste Form der körperlichen Wahrnehmung erzeugen; die zweite lässt

sich herstellen, wenn man die Zeichnung aus einander schneidet und dann die beiden Hälften derselben im Stereoskop vertauscht.

Diese Beobachtungen zeigen, dass bei der Gestaltung des Sehfeldes den Fixationslinien eine wesentliche Bedeutung zukommt. Sobald sich in dem objectiven Sehfeld von einander getrennte Punkte befinden, orientiren wir uns über das gegenseitige Lageverhältniss derselben vorzugsweise mittelst der Conturen, durch die sie verbunden sind. Wenn solche fehlen, haben wir zwar eine gewisse unbestimmte Vorstellung ihrer größeren oder geringeren Entfernung, aber bestimmter wird diese Vorstellung immer erst durch die Fixationslinien, auf denen sich der Blickpunkt hin- und herbewegen kann. Dabei fällt das subjective mit dem objectiven Sehfeld dann am vollständigsten zusammen, wenn solche Bewegungen actuell vollzogen werden. Doch wirkt schon das bloße Vorhandensein der Linien, also die virtuelle Bewegung in demselben Sinne. Auch von der Thatsache, dass unsere Vorstellung über die Entfernung von Objecten, die von einander getrennt im Sehfelde vertheilt sind, eine sehr mangelhafte ist, kann man sich leicht überzeugen. In dem Versuch der Fig. 287 hat man zwar in der Regel die Vorstellung, dass der Stab $a'b'$ näher als ab sich befinde, aber man unterschätzt stets die Distanz beider, wie man alsbald sieht, wenn ab in die durch die punktirte Linie angedeutete geneigte Lage gebracht wird, wo nun plötzlich diese Distanz merklich vergrößert erscheint. Bei den Doppelbilderversuchen in Fig. 286 (S. 605) bemerkt man die nämliche Erscheinung, wenn man abwechselnd auf den näheren und auf den ferneren Punkt einstellt. Dabei scheinen sich nämlich die Doppelbilder, während sie bei der Aenderung der Convergenz einander näher treten, gleichzeitig von dem vorher festgehaltenen Fixationspunkte zu entfernen. Der scheinbare Ort der Doppelbilder nähert sich daher auch um so mehr dem Blickpunkte, je mehr der Blick festgehalten wird, und bei vollkommen starrer Fixation entsteht wirklich die Vorstellung, dass er sich in gleicher Entfernung befinde. Uebrigens spielt in allen diesen Fällen der Umstand, ob die Netzhautbilder geläufigen Vorstellungen entsprechen, eine wichtige Rolle. So wird es nicht schwer, die Fig. 289 bei der Fixation der kleineren Kreise zur Vorstellung eines abgestumpften Kegels zu combiniren, obgleich keine Fixationslinien zwischen den kleineren und den größeren Kreisen vorhanden sind. Dabei kommt uns zu statten, dass eine wirkliche Form dieser Art in der That keine fest bestimmten Fixationslinien besitzt, während an einer abgestumpften Pyramide, wie sie der Fig. 288 entspricht, solche zwischen den Ecken der Basis und der Spitze existiren müssen. Hierin verräth sich deutlich wiederum die Mitwirkung associativer Einflüsse, ähnlich denen, die wir bei den geometrisch-optischen Täuschungen kennen lernten

(S. 547, 558). In Folge aller dieser Bedingungen ist aber die Vorstellung, die wir bei der Fixation irgend eines Punktes von dem Lageverhältniss anderer Punkte im Sehfelde gewinnen, in der Regel nur insoweit bestimmt, als sie durch die Richtung, in welcher der Blickpunkt bewegt werden muss, um sich auf sie einzustellen, gegeben ist, während der Umfang der Blickbewegung relativ unsicher bleibt. Dies wird begreiflich, wenn man erwägt, dass die Lagebestimmung des Augapfels offenbar auf dieselbe Weise zu stande kommt, wie die unserer tastenden Glieder, nämlich unter Mithülfe der Empfindungen, die bei der wirklichen Bewegung durch die Pressungen der Theile und andere periphere Sinnesempfindungen entstehen. Die von Lichteindrücken im Sehfeld ausgehenden Antriebe

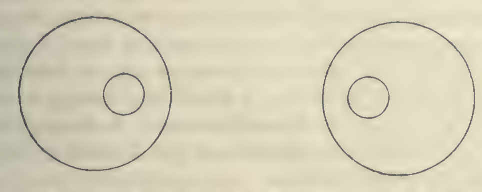


Fig. 289. Körperlich erscheinende binoculare Bilder ohne Fixationslinien.

zur Bewegung beim ruhenden Blick sind nun zwar, je nach der Richtung, in der der Antrieb wirkt, mit den von früheren Bewegungen zurückgebliebenen Residuen jener Empfindungen associirt (vgl. S. 557). Aber hierdurch wird doch zunächst hauptsächlich die Richtung der Bewegung, der Umfang derselben aber erst dann genauer determinirt, wenn die in verschiedenen Entfernungen liegenden Punkte durch Fixationslinien verbunden sind, wo nun jeder Punkt einer solchen Linie einen selbständigen Antrieb zur Bewegung mit sich führt.

Auch die Verbindung der gesehenen Objecte durch Fixationslinien gibt jedoch nur unter bestimmten Bedingungen eine Gewähr dafür, dass das subjective mit dem objectiven Sehfeld übereinstimmt. Als erste Bedingung ergibt sich hier die, dass die Entfernungsunterschiede der gesehenen Punkte nicht allzu groß seien. Wenn man in dem Versuch der Fig. 287 den Stab *ab* und die Distanz der Punkte *c* und *b'* sehr groß wählt, so wird der Stab in der geneigten Lage nicht mehr vollständig einfach gesehen, sondern sein vorderes Ende weicht in Doppelbildern aus einander. Auch wenn die Fixationslinien von geringer Ausdehnung sind, kann aber Doppelsehen eintreten, sobald man einen Punkt des Objectes starr fixirt. Auf diese Weise können selbst einzelne Theile körperlicher Objecte, namentlich wenn ihre Tiefenentfernung in Bezug auf den fixirten

Punkt erheblich ist, doppelt erscheinen. Sobald jedoch die nicht fixirten Theile des körperlichen Gegenstandes doppelt gesehen werden, wird regelmäßig auch die körperliche Vorstellung zerstört. Das ähnliche bemerkt man, wenn ein geneigt gehaltener Stab von dem fixirten Punkte an in Doppelbildern divergirt. Man sieht dann zwar in der Regel noch, welche Theile des Doppelbildes näher, und welche entfernter liegen als der Fixationspunkt, eine bestimmte Vorstellung über die Tiefenausdehnung des Stabes fehlt aber ganz und gar. Man überzeugt sich hiervon am besten, wenn man den Stab eben noch kurz genug nimmt, damit eine Vereinigung möglich ist, und dann abwechselnd durch starre Fixation Doppelbilder hervorbringt und durch rasche Blickbewegungen wieder vereinigt. Somit widerstreiten diese Versuche durchaus nicht der Allgemeingültigkeit des Satzes, dass die Objecte immer dann einfach gesehen werden, wenn das subjective mit dem objectiven Sehfeld übereinstimmt. Denn das Doppelsehen erfolgt eben immer erst in dem Moment, wo beide nicht mehr zusammenfallen. Wohl aber weisen diese Beobachtungen darauf hin, dass der übereinstimmenden Auffassung jener beiden Sehfelder Schwierigkeiten entgegenstehen, die in constant wirkenden Bedingungen begründet sein müssen.

d. Princip der häufigsten Verbindung: allgemeine Form des Sehfeldes.

Die Umstände, welche die richtige, d. h. mit der Beschaffenheit und Lage der Objecte selbst übereinstimmende Auffassung des objectiven Sehfeldes erschweren, lassen sich nun in einen Satz zusammenfassen, aus dem alle mitgetheilten Erfahrungen abzuleiten sind. Dieser Satz, den wir als das Princip der häufigsten Verbindung bezeichnen können, lautet: Die Erregung solcher Netzhautpunkte, die in der großen Mehrzahl der Fälle übereinstimmenden Objectpunkten entsprechen, erzeugt leichter eine einfache Vorstellung als die Erregung solcher, bei denen eine Beziehung dieser Art seltener eintritt. Wo bestimmte Motive zur Localisation der auf beiden Netzhäuten entworfenen Bilder fehlen, da localisiren wir dieselben durchweg nach diesem Princip. Die Existenz desselben ergibt sich schon aus der Thatsache, dass wir, wo solche speciellere Gründe nicht vorhanden sind, dem Sehfelde dennoch eine bestimmte, und zwar im allgemeinen eine übereinstimmende Form geben. Diese Form ist es eben, welche als die häufigste den wechselnderen Gestaltungen des subjectiven Sehfeldes gegenübertritt. Zunächst werden wir immer geneigt sein, diesem jene allgemeinste Form zu geben, die uns theils durch die eigenen Bewegungsgesetze des Auges, theils durch die gewöhnlichen Verhältnisse der äußeren Eindrücke geläufig ist; erst in zweiter Linie werden die

besondern Motive wirken, die das Sehfeld anders gestalten. Aus den variabeln Beziehungen der einzelnen Netzhautstellen beider Augen zu einander müssen sich daher die constanteren aussondern; und diese häufigste Verbindung der binocularen Netzhauteindrücke ist nur die innigste unter einer Reihe von Verbindungen, die verschiedene Grade der Stärke besitzen. Die Thatsache, dass eine constantere Beziehung existirt, steht daher mit der anderen, dass im allgemeinen die Verbindung der doppeläugigen Eindrücke variabel ist, durchaus nicht im Widerspruch. Wohl aber können sich dadurch, dass die constantere Verbindung vorübergehend in Conflict geräth mit den Bedingungen der einzelnen Wahrnehmung, Widersprüche im Sehen selber entwickeln. Solche äußern sich dann in einem Kampf zwischen Doppel- und Einfachsehen, der überall da zur Erscheinung kommt, wo das objective Sehfeld sehr ungewöhnliche Formen darbietet, oder wo durch starre Fixation die genauere Auffassung der Lageverhältnisse der Gegenstände beeinträchtigt wird.

Einen Beleg für die Entstehung neuer Zuordnungen aus einem solchen Kampf der Motive bieten die Anpassungsvorgänge, die zuweilen im Gefolge angeborener oder erworbener Abnormitäten in dem Mechanismus der binocularen Augenbewegungen beobachtet werden. Die eine Form dieser Erscheinungen, die des sogenannten paralytischen Schielens, die aus der vollständigen oder theilweisen Innervationslähmung eines oder mehrerer Augenmuskeln entspringt, ist mit Rücksicht auf ihre Bedeutung theils für die Bewegungsempfindungen überhaupt, theils speciell für die Gesichtswahrnehmungen schon an andern Stellen erörtert worden (S. 27, 576). Wesentlich abweichend verhält sich die zweite Form, die gerade in die Functionen des Doppelauges nicht selten als störendes Moment eingreift: die des muskulären Schielens, das in der abnormen Verkürzung von Augenmuskeln bei übrigens normaler Innervation derselben begründet ist. Während bei dem paralytischen Schielen der Aberrationswinkel des schielenden Auges, d. h. derjenige Winkel, um welchen die Blicklinie des abnormen Auges von der richtigen Stellung abweicht, bei verschiedenen Augenstellungen wechselt und im allgemeinen mit wachsender Convergenz zunimmt, ist dies anders beim muskulären Schielen. Hier behält, da die gemeinsame Innervation des Doppelauges nicht gestört ist, jener Winkel immer die nämliche Größe. Auch in diesen Fällen kommt es, ähnlich wie beim paralytischen Schielen, vor, dass das eine Halbbild allmählich in Folge abnehmender Sehschärfe des betreffenden Auges vernachlässigt wird. Oft wird aber auch bald das eine bald das andere Auge zum Fixiren benützt; und dann werden die Objecte trotzdem in der Regel nicht doppelt, sondern einfach gesehen. Dass dies nicht von Vernachlässigung des einen Halbbildes herrührt, kann man

durch ablenkende Prismen leicht nachweisen, die alsbald Doppelbilder hervortreten lassen. Es muss also hier das Netzhautcentrum des einen Auges demjenigen Punkt der Netzhaut des andern, auf dem sich der nämliche Objectpunkt abbildet, in constanterer Weise zugeordnet sein, und entsprechend müssen sich dann die übrigen einander zugeordneten Netzhautpunkte verschieben. In der That treten, wenn durch eine Operation die normale Stellung der Augen wiederhergestellt wird, eine Zeit lang außerordentlich störende Doppelbilder auf, die nur allmählich verschwinden, sei es weil das eine Halbbild vernachlässigt wird, sei es weil sich abermals eine neue Zuordnung der binocularen Netzhautstellen herstellt[1].

Vor allem spricht nun aber die *Lage der constanter zugeordneten Stellen im normalen Auge* für eine Entwicklung dieser Zuordnungen aus variableren Verbindungsverhältnissen. Es liegen nämlich jene Stellen in den meisten Augen *nicht*, wie man lange Zeit annahm, vollkommen symmetrisch zur Medianebene des Körpers, sondern sie zeigen Abweichungen, die darauf hindeuten, *dass jene Form des subjectiven Sehfeldes, die vermöge der objectiven Bedingungen des Sehens die häufigste ist, die Lagerung der correspondirenden Stellen bestimmt hat.* Dasjenige Sehfeld, das beim Mangel aller äußeren Bestimmungsmomente hervortritt, ist, wie wir früher (S. 536) sahen, eine Kugelfläche, die um den Drehpunkt des Auges oder, bei binocularem Sehen, um den Mittelpunkt der Verbindungslinie beider Drehpunkte gelegt ist (S. 602). Dieser Kugelfläche entspricht aber das *gewöhnliche Sehfeld*, wie wir jene *häufigste Form* nennen wollen, bloß in seiner oberen Hälfte; in seiner unteren wird es durch die *Bodenfläche* bestimmt, als deren normale Form wir eine horizontale Ebene betrachten können. Wenigstens für unsere nächste Umgebung trifft letzteres ja in der Mehrzahl der Fälle zu. Am Horizont scheint uns das Himmelsgewölbe, das wir als Hohlkugelform sehen, plötzlich ein Ende zu haben und in die ebene Bodenfläche überzugehen. Da wir nun den Blick um so mehr heben müssen, je fernere Punkte der letzteren wir fixiren, so erscheint uns diese Ebene nicht horizontal oder etwa gar im Sinne der Erdkrümmung gewölbt, sondern als eine von unsern

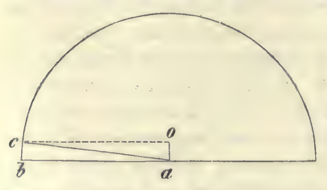


Fig. 290. Reguläre Form des Sehfeldes.

Füßen bis zum Horizont stetig ansteigende Ebene, wie es die Fig. 290 übertrieben darstellt, wo *oc* die Richtung der horizontalen Visirebene, *ab*

[1] Nagel, Das Sehen mit zwei Augen, S. 130. Alfr. Graefe, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 11, 2, 1865, S. 17, und Handbuch der ges. Augenheilkunde[2], Bd. 8, 2, S. 94 ff.

die wirkliche horizontale Bodenebene und *a c* die scheinbare Neigung der letzteren bedeuten. Zugleich sehen wir das Himmelsgewölbe selbst nicht vollkommen kugelförmig gewölbt, sondern flacher, da uns schon wegen der vielen Fixationspunkte zwischen unserm Standpunkt und dem Horizont dieser ferner erscheint als der Zenith. Wenn wir also bei paralleler Augenstellung in unendliche Ferne sehen, so nähert sich nur der obere Theil unseres Sehfeldes einer mit sehr großem Radius beschriebenen Kugelfläche und kann demnach für die nächste Umgebung des Blickpunktes als eine Ebene angesehen werden, die auf der horizontalen Visirebene senkrecht steht. Der untere Theil dagegen ist eine geneigte Ebene, die in der Nähe unseres Fußpunktes von der horizontalen Bodenebene nicht mehr merklich verschieden ist. Demnach bilden sich denn auch, wenn wir auf ebenem Boden stehend in unendliche Ferne blicken, nur die oberen Theile des Sehfeldes auf identischen Punkten beider Netzhäute ab. Denkt man sich dagegen auf dem Fußboden in der Medianebene des Körpers eine gerade Linie gezogen, so liegen die Bilder derselben nicht auf identischen Stellen, sie schneiden nicht einander parallel die Netzhautcentren, sondern sie convergiren nach oben. Da wir nun trotzdem die Objecte zu unsern Füßen in der Regel einfach sehen, so vermuthete HELMHOLTZ[1], die früher (S. 561) hervorgehobenen Täuschungen über die Richtung verticaler Linien seien hier von Einfluss, weil die Neigung, die eine scheinbar verticale Linie in ihrem Netzhautbilde hat, nicht nur dem Sinne, sondern häufig auch der Größe nach ungefähr dieselbe ist, wie sie dem Bild einer auf dem Fußboden gezogenen geraden Linie entspricht. Bei convergenten und stark nach abwärts geneigten Blicklinien dagegen, bei denen Rollungen um die Blicklinie eintreten, die nicht mehr dem LISTING'schen Gesetze folgen (S. 535), entspricht, wie DONDERS ermittelte, die Fläche, für welche die Incongruenz der Netzhäute verschwindet, in der Regel annähernd derjenigen Ebene, in der sich die Gegenstände unserer gewöhnlichen Beschäftigung beim Nahesehen befinden, in der man z. B. beim Lesen das Buch zu halten pflegt[2]. In dieser Ebene der aufgehobenen Incongruenz werden Linien von jeder Richtung binocular einfach gesehen; sie ist, wahrscheinlich in Folge wechselnder Gewohnheiten, individuell etwas veränderlich, bewahrt aber stets eine zur abwärts geneigten Blickebene nicht vollkommen senkrechte, sondern etwas nach unten abweichende Richtung. Die zugehörige Lage der Blickebene weicht bei den meisten Individuen erheblich ab von der vorzugsweise durch die Bewegungsgesetze bei parallelen Blicklinien ausgezeichneten Primärstellung (S. 525), da sie bedeutend tiefer

---

[1] Physiologische Optik[1], S. 715, [2] S. 862.
[2] DONDERS, PFLÜGERS Archiv, Bd. 13, 1876, S. 373.

als die letztere liegt. Wegen dieses Verhältnisses hat DONDERS jene von dieser als die Primärstellung für Convergenz unterschieden. Wie nun je nach individueller Gewohnheit und Beschäftigung bald parallele bald convergirende Blickbewegungen überwiegen, so ist es auch wahrscheinlich, dass bei gewissen Individuen das Sehen mit horizontaler, bei andern das Sehen mit geneigter Blickebene vorzugsweise die Lage der correspondirenden Netzhautmeridiane bestimmt hat. Darum ist dem Umstande, dass man in vielen Fällen den Betrag der Netzhautincongruenz der Voraussetzung, wonach sie durch die Bodenebene bestimmt wird, nicht entsprechend fand, wohl kein entscheidender Werth beizulegen. Auch ist zu bemerken, dass alle diese Versuche, die Incongruenz der beiden Netzhäute aus Verhältnissen der Gesichtswahrnehmung zu erklären, mit der oben (S. 530 ff.) gegebenen Ableitung aus der Vertheilung der Muskelkräfte am Auge nicht im Widerspruch stehen, vielmehr zusammen mit dieser nur eine fernere Bestätigung des Satzes liefern, dass Innervation und Mechanik der Augenmuskeln den Bedürfnissen des Sehens angepasst sind. Wenn wir freilich nach den Gründen für eine solche Anpassung suchen, so werden wir auch hier wieder annehmen können, in der Entwicklung der Art seien die Bedürfnisse des Sehens, wie sie sich allmählich durch die Vereinigung der beiden Augen zum Doppelauge ausgebildet haben, ursprünglich bestimmend gewesen, wogegen bei der individuellen Entwicklung die Mechanik des Auges das frühere sei. Hiermit ist die Frage, wie sich aus den wechselnden Verbindungen verschiedener Deckpunkte die correspondirenden Punkte als bevorzugte Verbindungen entwickelt haben, auch schon beantwortet. Wir sehen eine Gerade auf dem ebenen Fußboden nur deshalb vorzugsweise leicht einfach, weil beide Augen vermöge des bestimmenden Einflusses der Bewegung jener eine und dieselbe Richtung anweisen. Die hierbei wirksamen Gesetze der Augenbewegung werden sich dann aber allerdings schon in der generellen Entwicklung unter der Leitung der Gesichtseindrücke ausgebildet haben, wenn auch der individuellen Anpassung daneben eine gewisse Bedeutung zukommt, wie dies die oben besprochenen Erscheinungen beim muskulären Schielen andeuten. Doch gerade diese Erscheinungen zeigen auch, dass solche Anpassung Zeit braucht, während die große Geschwindigkeit, mit der sich bei Menschen und Thieren die Functionen des Sehens ausbilden, nur aus ererbten Anlagen begreiflich ist.

Blicken die Augen nicht in unendliche Ferne, sondern auf irgend ein näheres Object, so verlieren nun die correspondirenden Punkte ihre unmittelbare Bedeutung für das Sehen. Nichtsdestoweniger ist es klar, dass ihnen auch hier noch vermöge ihrer häufigeren Verbindung ein gewisser Einfluss zukommen kann. In allen Fällen nämlich, wo bestimmte Deck-

punkte des jeweiligen Sehfeldes zugleich correspondirende Punkte sind, wird die einfache Auffassung derselben und demgemäß auch ihre Lagebestimmung erleichtert, nach dem allgemeinen Associationsprincip, wonach sich psychische Elemente um so leichter von neuem verbinden, je öfter sie schon verbunden gewesen sind. (Vgl. Abschn. V.) Da die Macht dieses Einflusses, wie wir an den Doppelbilderscheinungen sahen, so stark ist, dass sie den im objectiven Sehfeld gegebenen Antrieben unter Umständen sogar zu widerstehen vermag, so wird die Verbindung um so mehr erleichtert sein, wenn jene Antriebe in gleichem Sinne wirken. Hat man den Inbegriff derjenigen Raumpunkte, deren Bild in beiden Augen auf correspondirende Stellen fällt, den Horopter genannt, so wird sich demnach die Bedeutung desselben für das Sehen nach dem obigen dahin feststellen lassen, dass alle Deckpunkte, die in den Horopter fallen, in Bezug auf ihre Verschmelzung begünstigt sind. Hiermit ist schon ausgedrückt, dass der Horopter nicht, wie es häufig geschah, als der Inbegriff derjenigen Punkte aufgefasst werden darf, die wirklich immer einfach gesehen werden. Zudem bedarf die obige Bestimmung noch einer weiteren Einschränkung. Eine reale Bedeutung für das Sehen besitzen nur diejenigen Theile des Horopters, die mit dem Fixationspunkt in unmittelbarem Zusammenhange stehen, demnach solchen Linien des Sehfeldes angehören, die den Blickpunkt schneiden, nicht aber Theile, die isolirt vom Blickpunkt in indirect gesehenen Gebieten des Sehfeldes liegen. Indirect gesehene Objecte werden nämlich an und für sich so ungenau wahrgenommen, dass selbst bedeutende Abweichungen der beiden Halbbilder nicht bemerkt werden, daher auch der Umstand, ob die Deckpunkte zugleich correspondirende Punkte sind, für solche stark seitlich gelegene Objecte nicht von Belang ist. Dies wird anders, wenn die indirect gesehenen Punkte zusammen eine Linie bilden, die den Blickpunkt schneidet. In diesem Falle müssen sich nämlich, wenn sich der Blickpunkt entlang einer solchen Linie bewegt, die einzelnen Punkte derselben in einander verschieben. Wenn der Blickpunkt von einem Punkt a auf einen Punkt b einer derartigen Horopterlinie übergegangen ist, so müssen nun a und alle zwischen a und b gelegenen Punkte wieder im Horopter liegen, d. h. auf correspondirenden Stellen beider Netzhäute sich abbilden. Alle durch den Blickpunkt gezogenen Horopterlinien werden also in Bezug auf die binoculare Auffassung ihrer Richtung begünstigt sein. Denn bei ihrer Verfolgung mit dem Blick tritt für die binoculare Auffassung das nämliche ein, was für die monoculare gemäß dem LISTING'schen Gesetze bei den Bewegungen von der Primärlage aus geschieht. Wie sich hier alle geraden Linien, die im ebenen Sehfeld vom Blickpunkt aus verfolgt werden können, bei der Bewegung dergestallt in einander verschieben, dass sie

sich fortwährend auf denselben Netzhautmeridianen abbilden (Fig. 253, S. 537), so wird dies für die Horopterlinien in Bezug auf beide Netzhäute der Fall sein. Ueber die Richtung solcher Linien orientiren wir uns daher beim binocularen Sehen am leichtesten und genauesten.

Es gibt dreierlei Stellungen des Auges, in denen der Horopter eine Bedeutung für das Sehen im angegebenen Sinne beanspruchen kann. Diese sind: 1) die Fernstellung mit parallelen, gerade nach vorn gerichteten Blicklinien, 2) die Convergenzstellungen in der Primärlage, und 3) die symmetrischen Convergenzstellungen in andern Lagen der Visirebene. Bei der Fernstellung des Auges, welche die Ausbildung der correspondirenden Punkte und damit den Horopter überhaupt bestimmt, ist dieser eine Fläche, die, wie wir oben sahen, in der Regel der unteren, zuweilen dagegen der oberen Hälfte des gewöhnlichen Sehfeldes entspricht, also eine Ebene, die entweder mit der Fußbodenebene zusammenfällt oder auf derselben senkrecht ist; in seltenen Fällen scheint sie sich ganz nach dem gewöhnlichen Sehfeld zu richten, also aus jenen beiden Ebenen zu bestehen. In allen anderen Augenstellungen ist der Horopter die Schnittlinie zweier Flächen, von denen man die eine den Verticalhoropter, die andere den Horizontalhoropter nennt. Um jede dieser Flächen zu finden, denke man sich auf der Netzhaut zwei Reihen von Linien gelegt, die einen parallel dem scheinbar verticalen Netzhautmeridian, die andern parallel dem Netzhauthorizont: die ersteren werden die verticalen, die zweiten die horizontalen Trennungslinien genannt. Den Verticalhoropter erhält man nun, wenn man durch die verticalen Trennungslinien beider Netzhäute und durch die Kreuzungspunkte der Visirlinien Ebenen legt: die Linie, in der sich diejenigen Ebenen schneiden, die je zwei correspondirenden Trennungslinien entsprechen, gehört der Verticalhoropterfläche an. Der Horizontalhoropter wird erhalten, wenn man durch die horizontalen Trennungslinien und die Kreuzungspunkte der Visirlinien Ebenen legt: die Linie, in der sich jetzt die Ebenen zweier correspondirender Trennungslinien schneiden, gehört zum Horizontalhoropter. Befinden sich beide Augen in symmetrischer Convergenz von der Primärlage aus, so ist der Verticalhoropter eine Kegelfläche, die durch die Kreuzungspunkte der Visirlinien geht. Wird die Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane null, so wandelt sich dieser Kegel in einen auf der Visirebene senkrechten Cylinder um. Der Horizontalhoropter besteht aus zwei Ebenen, von denen die eine, die Schnittebene der beiden Netzhauthorizonte, mit der Visirebene zusammenfällt, die andere, die alle Schnittlinien der übrigen horizontalen Trennungslinien enthält, die zur Visirebene senkrechte Medianebene ist. Totalhoropter ist daher in diesem Fall ein durch die beiden Kreuzungspunkte der Visirlinien in der Ebene der letzteren gelegter Kreis und eine in der Medianebene liegende Gerade, die den Fixationspunkt schneidet. Diese Gerade steht senkrecht zur Visirebene, wenn die correspondirenden mit den identischen Stellen zusammenfallen, d. h. wenn die Abweichung der scheinbar verticalen Trennungslinien null ist; sie ist zur Visirebene geneigt, wenn sich die Ausbildung der correspondirenden Punkte nach der Bodenebene gerichtet hat. In diesen Augenstellungen ist somit die binoculare Ausmessung horizontaler Linien sowie einer Medianlinie, die unter einem bestimmten, je nach der Lage der scheinbar verticalen

Meridiane etwas wechselnden Winkel durch den Fixationspunkt gelegt ist, begünstigt. Die individuellen Schwankungen, die in letzterer Beziehung stattfinden, haben wahrscheinlich darin ihren Grund, dass bald die Bedeutung der Primärlage für die räumliche Ausmessung in der Nähe liegender Gegenstände, bald die Form des gewöhnlichen Sehfeldes, wie es beim Fernesehen sich feststellt, von größerem Gewicht ist. Wo die Bedeutung der Primärstellung in den Vordergrund tritt, da wird sich ein solches Lageverhältniss der correspondirenden Punkte ausbilden, dass die senkrecht zur Visirebene im Blickpunkt errichtete Gerade auf correspondirende Meridiane fällt. Wo das Sehen in die Ferne überwiegt, da wird der Einfluss der Bodenebene bestimmender sein. So erklärt es sich, dass bei Kurzsichtigen die Neigung der scheinbar verticalen Meridiane sehr klein ist oder völlig verschwindet. Convergiren die Blicklinien asymmetrisch von der Primärstellung aus, so wird dadurch der Verticalhoropter nicht verändert. Auch der Horizontalhoropter besteht wieder aus zwei Ebenen, von denen die eine mit der Visirebene zusammenfällt. Die zweite geht aber nicht mehr durch den Fixationspunkt, sondern liegt seitlich von demselben. Demgemäß ist denn auch Totalhoropter der in der Visirlinie gelegene Kreis, wie vorhin, und außerdem eine Gerade, die entweder senkrecht zur Visirebene steht oder zu derselben geneigt ist, je nach der Lage der scheinbar verticalen Meridiane, immer aber *seitlich* vom Fixationspunkt liegt. Hiernach kann auch der letzteren Linie eine Bedeutung für die Ausmessung der Richtungen im Sehfeld nicht mehr zukommen: der physiologisch bedeutsame Horopter beschränkt sich also auf den durch die Kreuzungspunkte der Visirlinien gelegten Kreis, der die Ausmessung ausschließlich jener Linien begünstigt, die in der Visirebene liegen. In solchen symmetrischen Convergenzstellungen endlich, in denen die Visirebene von der Primärlage aus gehoben oder gesenkt ist, wird der Verticalhoropter wieder eine Kegelfläche, die je nach der Neigung, welche die verticalen Netzhautmeridiane erfahren haben, entweder unter oder über der Visirebene ihre Spitze hat. Der Horizontalhoropter besteht abermals aus zwei Ebenen, von denen die eine die Medianebene ist, die andere durch die Kreuzungspunkte der Visirlinien geht, aber *nicht* mit der Visirebene zusammenfällt, sondern zu ihr geneigt ist. Totalhoropter ist daher eine in der Medianebene durch den Fixationspunkt gehende Gerade und eine Kreislinie, die diesmal nicht den Fixationspunkt, sondern einen andern Punkt jener Geraden schneidet. Demnach ist der für das Sehen in Betracht kommende Theil des Horopters nur die in der Medianebene liegende Gerade. Wie also in den asymmetrischen Convergenzstellungen von der Primärlage aus nur die Ausmessung von Linien in der Visirebene, so ist in den symmetrischen Convergenzstellungen außerhalb der Primärlage die Ausmessung von Linien in der Medianebene begünstigt; allein in den symmetrischen Convergenzstellungen von der Primärlage aus sind beide zugleich bevorzugt. In diesen Verhältnissen liegt ausgedrückt, dass es *zwei* Hauptrichtungen des Sehens gibt, die den zwei Hauptrichtungen der Blickbewegung correspondiren. Bei der *einen* werden vorzugsweise gerade Linien in der Medianebene deutlich aufgefasst: hier wandert, wenn das Auge bewegt wird, der Blickpunkt innerhalb der Medianebene; bei festgehaltener symmetrischer Convergenz verändert sich also die Lage der Visirebene. Mit der letzteren wechselt dann zugleich die Richtung derjenigen Geraden, deren genaue Auffassung begünstigt ist. In den Stellungen *unterhalb* der Primärlage ist

dieselbe so zur Visirebene geneigt, dass ihr oberes Ende vom Sehenden abgekehrt ist; in den Stellungen oberhalb der Primärlage ist dasselbe im allgemeinen dem Sehenden zugekehrt. In der Primärlage selbst steht die begünstigte Medianlinie entweder senkrecht zur Visirebene, oder sie ist noch im selben Sinne wie bei den tieferen Lagen geneigt, so dass erst in einer etwas höheren Stellung die senkrechte Lage eintritt. Diese Richtungsänderungen der begünstigten Linien hängen vermuthlich wieder damit zusammen, dass im gewöhnlichen Sehfelde der gesenkte Blick auf die Fußbodenebene fällt, die sich vom Sehenden scheinbar ansteigend zum Horizont erstreckt, der gehobene Blick dagegen dem Zenith sich nähert, von dem das Sehfeld zum Horizont abfällt. Dieser Form fügt sich aber nicht bloß das unendlich entfernte Himmelsgewölbe, sondern auch eine nähere Fläche, die wir bei aufwärts gekehrtem Blick betrachten. Die ebene Decke eines größeren Zimmers z. B. oder das Laubdach eines ebenen Waldwegs sieht man sich zum Horizont senken, ähnlich wie die Bodenebene zu demselben ansteigt. Bei der zweiten Hauptrichtung des Sehens sind die in dem Horopterkreis liegenden Gegenstände in Bezug auf ihre deutliche Auffassung begünstigt. Diese Hauptrichtung geht von einer fest bestimmten Lage der Visirebene, der Primärlage, aus, in der dann bei gleichbleibendem Convergenzwinkel der Blick nach rechts und links gewendet werden kann, während die Bilder der in jenem Kreis gelegenen Objecte sich fortwährend über correspondirende Stellen der Netzhauthorizonte bewegen. In diesem Falle ist die Thatsache entscheidend, dass nähere Gegenstände, die wir in horizontaler Richtung mit dem Blick ausmessen, vorzugsweise unter dem Horizont liegen, also mit gesenktem Blick beobachtet werden. Der Horizont selbst bildet die obere Grenze solcher Horizontaldistanzen: er fordert aber im allgemeinen eine Parallelstellung der Augen. Nachdem so durch die Verhältnisse des gewöhnlichen Sehfeldes die geneigte Lage der Primärstellung gefordert ist, wählen wir diese dann auch unwillkürlich bei solchen Beschäftigungen, bei denen es uns, wie beim Lesen und Schreiben oder bei feinen mechanischen Arbeiten, auf eine besonders genaue Auffassung in der horizontalen Sehrichtung ankommt. Dabei ist freilich nicht zu übersehen, dass nicht minder die Muskeln unserer Arme und Hände in einer Weise eingerichtet und eingeübt sind, die eine solche Haltung des Auges verlangt. Auch hier sind es also wieder mannigfaltige Bedingungen, die nach einem Ziele zusammenwirken.

In asymmetrischen Stellungen außerhalb der Primärlage gibt es zwar ebenfalls noch eine Horopterlinie. Letztere ist in diesem Fall eine Curve doppelter Krümmung, die durch den Schnitt zweier Hyperboloide entsteht. Es liegt aber keine Wahrscheinlichkeit vor, dass diese Linie für das Sehen irgend eine Bedeutung habe. Die genannten Augenstellungen verhalten sich daher in dieser Beziehung nicht anders, als wenn der Blickpunkt der einzige correspondirende Punkt wäre. Begünstigte Richtungen des Sehens kann es hier nicht geben, da die Horoptercurve in keinem Fall mehr eine durch den Blickpunkt gehende Linie ist. Nach dem Listing'schen Gesetze sind demnach in der Primärlage alle Richtungen des Sehens dadurch bevorzugt, dass in ihnen die Orientirung des einzelnen Auges bei der Bewegung des Blicks constant bleibt. Jede in der Primärlage durch den Fixationspunkt gehende Gerade verschiebt sich bei der Bewegung im Netzhautbild des einzelnen Auges in sich selber. Für das binoculare Sehen reduciren sich

diese begünstigten Richtungen auf die zwei Hauptrichtungen. Dabei haben jedoch, wie es scheint, die bei den Convergenzstellungen eintretenden Abweichungen vom LISTING'schen Gesetze die Bedeutung, dass sie eine zweite tiefere Primärlage speciell für das Sehen in der Nähe hervorbringen[1].

Eigenthümliche Abweichungen von den beim normalen Doppelauge stattfindenden Zuordnungen der beiden Netzhautflächen finden sich bei Schielenden, sofern sich ein stationärer Zustand ausgebildet hat und das schielende Auge nicht, wie es bei hochgradigen Formen vorkommen kann, seine Function einbüßt. Es können sich dann neue, den veränderten Bedingungen angepasste Zuordnungen ausbilden, in Folge deren die in den früheren Stadien vorhanden gewesenen Doppelbilder wieder verschwinden. Wie es diese Compensationen unmöglich machen, die binoculare Zuordnung überhaupt als eine absolut feste, von den äußeren Bedingungen des Sehens unabhängige aufzufassen, so bieten sie offenbar einen analogen Beweis für die Einwirkung der Function auf die binoculare Synergie der beiden Netzhäute, wie ein solcher unter den normalen Verhältnissen des Sehens bereits in der Abweichung der »correspondirenden« von den »identischen« Stellen gelegen ist[2].

Indem die Einflüsse, welche die constantere Zuordnung der correspondirenden Punkte bedingen, und diejenigen, welche von der variabeln Auffassung des Sehfeldes ausgehen, neben einander zur Geltung kommen, bildet sich im

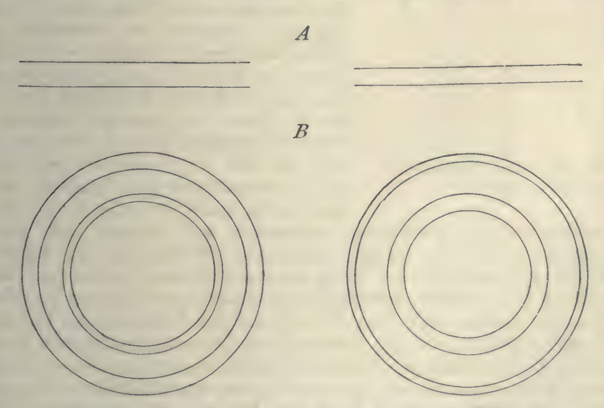


Fig. 291. Binoculare Verschmelzung abweichender Bilder.

[1] HELMHOLTZ, Physiologische Optik[1], S. 695. [2] S. 841 ff. HERING, HERMANNS Handbuch, Bd. 3, I, S. 351 ff. Ueber empirische Horopterbestimmungen mittelst Doppelbilder vgl. CHR. LADD FRANKLIN, Amer. journ. of Psychol., vol. 1, 1887, p. 99. A. TSCHERMAK, PFLÜGERS Archiv, Bd. 81, 1902, S. 328.

[2] A. GRAEFE, GRAEFE und SÄMISCHS Handb. der Augenheilkunde[2], Bd. 8, 2, S. 97 ff. Vgl. übrigens über diese Erscheinungen, deren Deutung, namentlich mit Rücksicht auf die Frage, ob sich eine neue Correspondenz, oder ob sich bloß eine Zuordnung neuer Sehrichtungen ausbildet, unter den Ophthalmologen noch streitig ist, M. SACHS, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 43, 3, 1897, S. 597. A. TSCHERMAK, ebend. Bd. 47, 3, 1899, S. 508.

allgemeinen eine Neigung aus, solche Bilder beider Netzhäute, die sich in Form und Größe sehr nahe kommen und nahezu correspondirende Stellen decken, in eine Vorstellung zu verschmelzen, auch wenn die sonstigen Motive einer Verschmelzung, die aus der Lagebestimmung im Sehfeld hervorgehen, fehlen. Wenn man z. B. zwei Kreise von etwas ungleichem Radius zieht und sie in Parallelstellung oder symmetrischer Convergenz zur Vereinigung bringt, so verschmelzen dieselben in die Vorstellung eines Kreises. Aehnlich verhält es sich, wenn man zwei horizontale Linien von ungleicher Distanz binocular vereinigt, wie in Fig. 291 *A*. Ebenso verschmelzen die vier Kreise in Fig. 291 *B*. Hieraus geht hervor, dass die Unterschiede nicht-correspondirender Stellen beider Netzhäute unter allen Umständen viel leichter verschwinden als Unterschiede im Sehfeld des einzelnen Auges, indem auch bei relativ nicht unbeträchtlichen Abweichungen die binocularen Eindrücke immer noch auf einfache Objecte bezogen werden können. Doch gelingt es oft, namentlich bei starrer Fixation, die unter gewöhnlichen Umständen verschmelzenden Eindrücke zu Doppelbildern aus einander zu treiben. Ferner müssen in allen diesen Fällen, die den Bedingungen des normalen Sehens widerstreiten, die Unterschiede immerhin weit geringer sein, als wenn eine Beziehung auf bestimmte Lageverhältnisse der Gegenstände möglich ist. So können zwei verticale Linienpaare bei einem viel größeren Distanzunterschied vereinigt werden als zwei horizontale (Fig. 292). Denn bei der Combination der Linienpaare *ab* und *cd* (Fig. 292) entsteht die Vorstellung eines Tiefenunterschieds. Denken wir uns zwei Linien im Raume, von denen die rechts gelegene weiter vom Beobachter entfernt ist als die linke, so entwerfen dieselben bei naher Betrachtung in der That im linken Auge ein Bild *ab*, im rechten ein Bild *cd*. Bei Horizontallinien kann dagegen ein solcher Distanzunterschied der Bilder nur bei stark seitlicher Lage des Objects vorkommen, und er kann hier, weil seitliche Objecte zu bald aus unserm Gesichtsfeld verschwinden, bei weitem keinen so hohen Grad erreichen. Dem entsprechend fand Volkmann, dass die Unterschiede bei verticaler Richtung das 4 bis 6fache derjenigen bei horizontaler betragen durften; doch waren die individuellen Schwankungen bedeutend[1]. Einen großen Einfluss auf die Trennung der Doppelbilder, mögen dieselben nun durch die Beziehung auf bestimmte Lageverhältnisse der Objecte erschwert sein oder nicht, übt auch die Anbringung gewisser Merkzeichen aus, welche die Vereinigung in eine einzige Vorstellung hindern. So widersetzen sich die Linienpaare in Fig. 293 *A* der Verschmelzung in Folge der beiden Horizontallinien. Dasselbe tritt aber auch schon ein, wenn man, wie in *B*, von zwei zu combinirenden Linien die eine durch einen rechts, die andere durch einen links beigesetzten Punkt auszeichnet. In allen diesen Fällen, die noch in der mannigfaltigsten Weise variirt werden können[2], schwindet zugleich mit dem

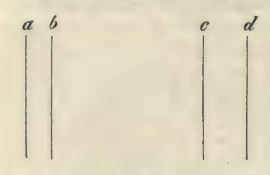


Fig. 292. Binoculare Combination verticaler Linienpaare.

[1] Volkmann, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 5, 2, 1859, S. 32 ff.

[2] Vgl. Volkmann, a. a. O. S. 19 ff. Panum, Das Sehen mit zwei Augen, S. 64 ff.

Eintritt der Doppelbilder alsbald die Vorstellung einer verschiedenen Tiefenentfernung der Linien.

Wie in den zuletzt beschriebenen Versuchen die Trennung der auf nicht correspondirende Stellen fallenden Bilder durch besondere Zeichen begünstigt

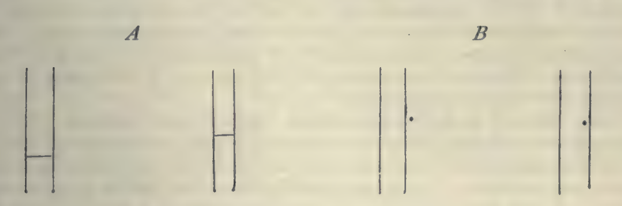


Fig. 293. Doppelbilder mit Merkzeichen.

wird, so kann endlich umgekehrt durch auszeichnende Merkmale die Vereinigung der auf correspondirenden Stellen entworfenen verhindert werden, falls gleichzeitig andere Momente ein Auseinanderfallen der Deckpunkte und der correspondirenden Punkte veranlassen. Hierher gehört der in Fig. 294

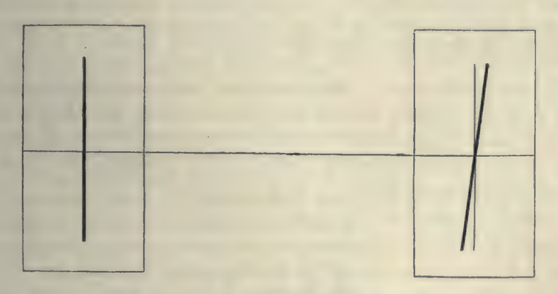


Fig. 294. WHEATSTONE'scher Versuch.

wiedergegebene WHEATSTONE'sche Versuch. Links befindet sich eine dicke, rechts ihr parallel eine feine Verticallinie, außerdem noch eine ebenfalls dick ausgezogene Linie von etwas anderer Richtung. Bringt man nun diese Zeichnungen binocular zur Deckung, so werden die beiden dicken Linien vereinigt, und zwar erwecken sie die Vorstellung eines sich in die Tiefe erstreckenden Stabes, die feine Linie aber wird isolirt gesehen[1]. Dieser Versuch ist mehrfach bestritten oder auf die oben (S. 594) erwähnten Fusionsbewegungen der Augen zurückgeführt worden[2]. Aber selbstverständlich kann hier der Umstand,

---

[1] WHEATSTONE, POGGENDORFFS Annalen, 1842, Ergänzungsbd., S. 30. Eine andere Form des Versuchs siehe bei NAGEL, Das Sehen mit zwei Augen, S. 81.

[2] BRÜCKE, MÜLLERS Archiv, 1841, S. 459. VOLKMANN, a. a. O. S. 74. SCHOEN, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 24, 1, 1878, S. 61.

dass es zuweilen gelingt, die correspondirenden Linien statt der disparaten zu verschmelzen, nichts beweisen; und Fusionsbewegungen lassen sich theils durch eine den Umfang derselben überschreitende Neigung der Linie theils dadurch ausschließen, dass man noch andere Linien im Gesichtsfeld anbringt, z. B. die umrahmenden Vierecke, die ihre scheinbare Richtung nicht verändern und sich fortwährend decken; zudem spricht dagegen die deutliche Tiefenvorstellung, sowie die von DONDERS bemerkte Thatsache, dass bei entsprechender horizontaler Anordnung der Linien, wo die Tiefenvorstellung hinwegfällt, der Versuch nicht gelingt[1].

Eine belehrende Modification dieser Versuche besteht ferner darin, dass man statt der objectiven Bilder binocular erzeugte Nachbilder anwendet, die in der nämlichen Weise, wie es früher (S. 527 ff.) an monocularen Nachbildern gezeigt wurde, in wechselnder Weise nach außen projicirt werden können. Schon WHEATSTONE[2] und ROGERS[3] bemerkten hierbei, dass Nachbilder, die in beiden Augen auf nicht-correspondirenden Netzhautstellen liegen, combinirt werden können. Versucht man nun aber den Einfluss zu ermitteln, den hierbei die Vorstellung von der Lage des Sehfeldes, in das die Nachbilder verlegt werden, auf die binoculare Verschmelzung derselben ausübt, so ergibt sich, dass die Nachbilder beider Augen auf irgend eine ihrer Form und Richtung nach bekannte Fläche nach denselben Gesetzen projicirt werden, nach denen auch das einzelne Auge die Nachbilder in sein Sehfeld verlegt, dass also die binocularen Nachbilder dann mit einander verschmelzen, wenn sie auf Deckstellen des Sehfeldes bezogen werden[4]. Fixirt man z. B. (Fig. 295) mit dem rechten Auge einen farbigen Streifen a auf complementärfarbigem Grunde, und projicirt man dann das Nachbild desselben auf eine Ebene, die gleich der Ebene des ursprünglichen Streifens senkrecht zur Visirebene ist, so behält das Nachbild dieselbe Lage wie sein Erzeugungsbild. Dreht man aber die Projectionsebene um eine horizontale Achse $\alpha\beta$, so dass sich das obere Ende vom Beobachter wegkehrt, so geht das Nachbild aus der Lage a in die Lage c über. Aehnlich nimmt ein im linken Auge erzeugtes Nachbild b auf einer zur Visirebene senkrechten Projectionsebene zunächst die Lage b an, aus der es, wenn die Ebene in der oben angegebenen Weise gedreht wird, ebenfalls in die Lage c übergeht. Erzeugt man nun gleichzeitig im rechten Auge ein Nachbild a, im linken ein Nachbild b, und fixirt dann den Punkt γ, so sieht man zunächst zwei Nachbilder a und b, die sich in γ kreuzen. Dreht man aber jetzt die Ebene in der oben angegebenen Weise vom Beobachter weg, so verschmelzen beide in das eine Nachbild c. VOLKMANN hat diesem Resultat widersprochen. Er behauptet, die beiden Nach-

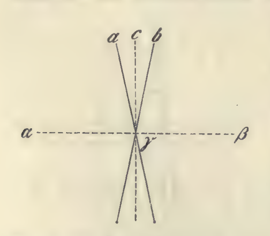


Fig. 295. Nachbildversuch zur Nachweisung der binocularen Bildverschmelzung durch Tiefenprojection.

[1] DONDERS, PFLÜGERS Archiv, Bd. 13, 1876, S. 417.
[2] POGGENDORFFS Annalen, a. a. O. S. 46.
[3] SILLIMANS Journal, Nov. 1860.
[4] WUNDT, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, S. 271 f.

bilder blieben bei der Drehung der Ebene doppelt, und nur dann, wenn man das linke Auge schließe, nehme *a* die Richtung *c*, ebenso wenn man das rechte schließe, *b* die Richtung *c* an[1]. Vermuthlich beruht dies darauf, dass es einzelnen Beobachtern nicht gelingt, die Nachbilder auf die geneigte Ebene zu projiciren. Dafür spricht die folgende umgekehrte Form des Versuchs, die allerdings schwerer gelingt, die aber dann um so überzeugender ist. Man fixire binocular zwei scheinbar verticale farbige Streifen, so dass dieselben im gemeinsamen Bilde zu einem Streifen verschmelzen. Entwirft man nun das Nachbild auf eine Ebene, die stark zur Visirebene geneigt ist, so gelingt es zuweilen, dasselbe in der Form eines im Fixationspunkt sich kreuzenden Doppelbildes zu sehen. Bleibt aber trotzdem das Nachbild einfach, so habe ich stets die deutliche Vorstellung, dass dasselbe nicht auf der vorgehaltenen Ebene liegt, sondern in der Luft steht.

e. Das Stereoskop und die binocularen Wettstreitserscheinungen.

Das Stereoskop ahmt die natürlichen Bedingungen des körperlichen Sehens nach, indem es beiden Augen Bilder darbietet, wie sie ein in zureichender Nähe befindlicher körperlicher Gegenstand in ihnen entwerfen würde. Dabei ist man dann mittelst des Stereoskopes im stande, die Bedingungen, die beim natürlichen Sehen nur für nahe gelegene Objecte gelten, auf entferntere zu übertragen. Denn in dem Stereoskop kann man Aufnahmen eines fernen körperlichen Gegenstandes verbinden, die in zwei Stellungen gemacht sind, welche die Distanz der beiden Augen von einander weit übertreffen. Auf diese Weise geben uns z. B. die gewöhnlichen stereoskopischen Landschaftsphotographien ein körperliches Bild, wie es uns das natürliche Sehen nicht verschafft, da eine Landschaft von dem Standpunkte, auf dem sie übersehen werden kann, zu weit entfernt ist, als dass merkliche Verschiedenheiten der Netzhautbilder existirten. Das stereoskopische Bild entspricht also nicht der wirklichen Landschaft, sondern einem in der Nähe betrachteten Modell derselben. Ebenso verhalten sich photographische Aufnahmen vom Monde, die, an zwei zureichend entfernten Orten der Erde gemacht, diesen Weltkörper im Stereoskop plastisch erscheinen lassen.

Die gewöhnliche, auch für die meisten psychologischen Versuche ausreichende Form des Stereoskops ist das zuerst von Brewster angegebene Prismenstereoskop (Fig. 296). Dasselbe besteht aus zwei Prismen, die mit ihren brechenden Kanten einander zugekehrt sind und hinter denen sich, durch eine verticale Scheidewand getrennt, in etwa 20 cm Entfernung die beiden zu vereinigenden Bilder befinden. Die

---

[1] Volkmann, Physiologische Untersuchungen im Gebiet der Optik, Bd. 1, S. 169. Vgl. auch Schoen, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 24, 4, 1878, S. 57.

Prismen sind aus einer Biconvexlinse hergestellt, die in der Mitte durchschnitten ist, daher die Gläser des Stereoskops zugleich eine schwach vergrößernde Wirkung ausüben. Die von den Bildern *m* und *o* ausgehenden Strahlen *m n* und *o p* werden durch die Prismen so gebrochen, dass sie die Richtungen *n l* und *p r* annehmen, die sich in *c* schneiden; auf diesen Punkt stellt der Beobachter seine Blicklinien ein, so dass er das körperliche Bild nach *a b* verlegt. Der Zweck des Stereoskops besteht demnach lediglich darin, die binoculare Vereinigung der den beiden Augen dargebotenen Bilder zu erleichtern, indem es durch die in den Prismen erzeugte Ablenkung der Strahlen die Convergenzeinstellung auf in bequemer Sehweite gelegene Punkte ermöglicht. Die meisten Beobachtungen, die im Vorangegangenen über die Vereinigung binocularer Bilder und über die Beziehungen zwischen der Beschaffenheit derselben und ihrer Projection in das Sehfeld erwähnt wurden, lassen sich daher auch mit dem Stereoskop ausführen, wobei diese bequemere Beobachtungsweise überdies manche Variationen der Bedingungen gestattet, die auf die allgemeinen Verhältnisse des binocularen Sehens Licht werfen. So bemerkt man hier, im Einklang mit den ohne Stereoskop ausgeführten Versuchen, dass das ruhende Doppelauge im allgemeinen eine viel ungenauere Vorstellung von der körperlichen Form eines Gegenstandes empfängt als das bewegte, und dass für jenes die Vereinigung der zusammengehörigen stereoskopischen Bildtheile zwar möglich, aber nicht nothwendig ist. Diese treten vielmehr um so leichter zu Doppelbildern aus einander, einer je festeren Fixation man sich befleißigt. Dabei zeigt sich dann aber zugleich die einmal gebildete Vorstellung von wesentlichem Einflusse. Sobald man durch die Bewegung die Form eines Objectes aufgefasst hat, ist es leicht, sie auch während der Ruhe festzuhalten. Aehnliches beobachtet man bei momentaner Erleuchtung der stereoskopischen Bilder mit dem elektrischen Funken. Meist sind hierbei mehrere auf einander folgende Erleuchtungen mit wechselndem Blickpunkt erforderlich, um den stereoskopischen Effect zu erzielen; und nur dann ist man überhaupt im stande, bei einer einzigen momentanen Erleuchtung die Tiefenvorstellung zu vollziehen, wenn zwei zusammengehörige Deckpunkte der beiden Bilder bereits vorher als Lichtpunkte bemerklich gemacht und fixirt worden waren.

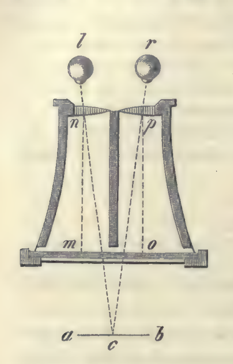


Fig. 296. Prismenstereoskop.

Abgesehen von der Verwendung des Stereoskops zur Nachbildung

der natürlichen Bedingungen des binocularen Sehens bietet dasselbe nun noch den weiteren Vortheil, dass es die Beobachtung der Effecte des Zusammenwirkens der beiden Augen unter beliebig von der Wirklichkeit abweichenden Bedingungen erleichtert. Erscheinungen, die in dieser Beziehung für die Frage der Wechselbeziehungen der beiden Netzhautflächen bedeutsam sind, bieten sich hier besonders dann, wenn die Licht- und Farbenbeschaffenheit der Erregungen in beiden Augen wesentlich verschieden ist, oder wenn diese zur Vereinigung völlig differenter Bilder genöthigt werden. Wir wollen alle diese Erscheinungen, insofern bei denselben ein gewisser Widerspruch zwischen den für die beiden Augen vorhandenen Sehbedingungen besteht, unter dem Namen der Wettstreitsphänomene zusammenfassen, wobei freilich zu diesem Ausdrucke bemerkt werden muss, dass diejenige Erscheinung, die man nach ihrem subjectiven Charakter speciell als »Wettstreit der Sehfelder« zu bezeichnen pflegt, eine viel beschränktere Bedeutung hat und wesentlich nur einen Grenzfall zu den in einem weiteren und objectiven Sinn so genannten »Wettstreitsphänomenen« bildet.

Die Auffassung dieser Erscheinungen ist im allgemeinen von der im voraus gebildeten Vorstellung bestimmt worden, dass Eindrücke, die beide Netzhäute gleichzeitig treffen, im wesentlichen ebenso wirken müssten wie eine Addition der gleichen Eindrücke auf einer und derselben Netzhaut, abgesehen davon, dass etwa die vorwiegende Richtung der Aufmerksamkeit auf ein einzelnes Auge ausschließlich den einen der beiden Eindrücke zum Bewusstsein bringe. Danach betrachtete man die Mischung der Empfindungen als das natürliche, normale Vorkommen, neben dem dann nur noch gelegentlich die Verdrängung des einen Sehfeldes durch das andere und im Moment einer solchen Verdrängung der Wettstreit eine Rolle spiele[1]. Dabei werden aber gerade diejenigen Erscheinungen meist nur beiläufig gestreift, die für diese binocularen Wechselwirkungen charakteristisch sind und sie von vornherein von den im einzelnen Auge vorkommenden Mischungseffecten fundamental unterscheiden. Diese Erscheinungen sind der stereoskopische Glanz, der binoculare Contrast und der Einfluss der Fixationslinien auf das binoculare Sehfeld.

Der von DOVE entdeckte stereoskopische Glanz ist ein Phänomen, das sich regelmäßig bei der Vereinigung zweier stereoskopischer Bilder von verschiedener Helligkeit oder Farbe darbietet, so lange man

[1] Vgl. z. B. PANUM, Das Sehen mit zwei Augen. 1858, S. 40 ff. AUBERT, Physiologie der Netzhaut, S. 293 ff. HERING, HERMANNS Handbuch, Bd. 3, I, S. 591 ff. EBBINGHAUS, PFLÜGERS Archiv, Bd. 46, 1890, S. 498. Anderseits hat allerdings schon HELMHOLTZ gegenüber dieser Vermengung der binocularen Wettstreitsphänomene mit der monocularen Farbenmischung bemerkt, dass er für seine eignen Augen eine eigentliche binoculare Farbenmischung überhaupt nicht bestätigen könne. (Physiologische Optik[1], S. 778, [2] S. 928.)

nur die Bedingungen so wählt, dass die unten zu erwähnenden Contrasteinflüsse nicht die Grenze erreichen, wo eine vollständige Verdrängung des einen Bildes eintritt[1]. Ausgedehntere Bilder von gleichfarbigen Flächen befördern das Auftreten des stereoskopischen Glanzes, während dicht gedrängte Conturen ihn in Folge der unten zu erwähnenden, mit dem Contrast zusammenhängenden Randwirkungen verhindern. Dagegen begünstigt wiederum die Begrenzung der Objecte seine Entstehung. Am schönsten erhält man ihn daher bei der Vereinigung einer schwarzen und einer weißen oder grauen oder zweier farbiger, von deutlichen Conturen umgrenzten gleich großen Flächen, vorausgesetzt dass man die Helligkeitsunterschiede, um Verdrängung zu vermeiden, nicht zu groß wählt. Der stereoskopische Glanz ist also das eigentliche Phänomen der binocularen Mischung. Eine binoculare Mischung von Farben oder Helligkeiten ohne Glanz kommt überhaupt kaum vor. Das Wesen des Glanzes besteht aber durchaus nicht, wie zuweilen behauptet wurde, in einer größeren Intensität des Eindrucks, sondern lediglich darin, dass hinter einer Fläche von bestimmter Farbe oder Helligkeit eine andere Fläche von abweichender Farbe oder Helligkeit gesehen wird. Glanz, Durchsichtigkeit und Spiegelung sind daher engverbundene und in einander übergehende Erscheinungen. Sobald wir hinter einem Object ein anderes erblicken, das durch einigermaßen deutliche Conturen sich abhebt und daher in eine bestimmte Entfernung hinter jenem verlegt wird, so entsteht der Eindruck zweier Flächen, von denen die eine als die nähere, die andere als die durch sie hindurch gesehene fernere erscheint. Sobald dagegen die Conturen verschwimmen, so entsteht der Eindruck des Glanzes, bei dem zwar immer noch die beiderlei Lichteindrücke gesondert werden, aber der des hindurchgesehenen oder gespiegelten Bildes nicht mehr auf ein bestimmtes, irgendwie begrenztes Object bezogen wird. Dieser Entstehungsweise gemäß sind denn auch die eigenthümlichen Empfindungscomplexe, welche die Phänomene der Durchsichtigkeit, der Spiegelung und des Glanzes auszeichnen, durchaus nicht an das binoculare Sehen gebunden, sondern der stereoskopische Glanz ist nur ein Specialfall einer Gruppe von Erscheinungen, die auch im monocularen Sehen vorkommen. Monocular entsteht nämlich die Vorstellung des Durchsichtigen jedesmal dann, wenn wir auf ein und dasselbe Auge zwei in gleicher Richtung, aber aus verschiedener Entfernung kommende Eindrücke einwirken lassen, die zugleich irgendwie, z. B. durch begrenzende Conturen, die Nöthigung mit sich führen auf sie verschieden zu accommodiren. Unter diesen Bedingungen tritt

---

[1] Dove, Berichte der Berliner Akademie, 1850, S. 152. 1851, S. 246. Darstellung der Farbenlehre. 1853, S. 166.

auch unter den gewöhnlichen Verhältnissen des Sehens die Vorstellung des Durchsichtigen oder in den oben angegebenen Grenzfällen die des Glanzes ein. Jene Vorstellung des Durchsichtigen entsteht aber nicht bloß dann, wenn das Object wirklich durchsichtig ist, sondern genau in derselben Weise, wenn es eine spiegelnde Oberfläche hat, die das Bild eines zweiten Objectes zurückwirft. Man kann daher künstlich diesen Schein des Durchsichtigen leicht auf folgendem Wege erzeugen. Man halte über ein horizontal liegendes schwarzes oder farbiges Papierstückchen *a* (Fig. 297) eine farblose schräg geneigte Glasplatte *g*, und lasse in dieser eine vertical gehaltene weiße Papierfläche *c* sich spiegeln, auf der irgend ein scharf begrenztes Object angebracht ist, z. B. ein kleineres farbiges Papierstückchen *b*. Gibt man der Glasplatte eine Neigung von 45°, so scheint dem Auge *o* das Object *b* unmittelbar auf der Fläche *a* zu liegen. Es tritt dann einfache Farbenmischung ein. Vergrößert man aber den Winkel zwischen der Fläche *c* und der Glasplatte, indem man *c* in die Lage *c'* bringt, so scheint das Object *b* hinter *a*, bei *b'* zu liegen; es entsteht daher die Vorstellung, *a* sei durchsichtig, und es mischen sich nun die Eindrücke *a* und *b* nicht mehr einfach, sondern sie werden bis zu einem gewissen Grade gesondert, indem man jede Farbe oder Helligkeit auf die Conturen desjenigen Objectes bezieht, dem sie angehört. Sobald sich aber auf der Papierfläche *c* kein begrenztes Object befindet, sobald also keine Conturen wahrgenommen werden, so hört natürlich der Eindruck der Spiegelung auf, und es erfolgt bei allen Neigungen der Glasplatte einfache Mischempfindung. Anderseits macht das Object *a* bei diesen Versuchen um so vollständiger den Eindruck eines wirklichen Spiegels, je gleichmäßiger es ist. Dagegen wird dieser Eindruck gestört, wenn man auf *a* Ungleichmäßigkeiten der Färbung oder eine Zeichnung anbringt, die zur Accommodation nöthigt. Das nämliche kann man auch erreichen, wenn man dem Object *b* verwaschene Conturen gibt, so dass die scheinbare Entfernung seines Bildes von *a* undeutlich wird, oder wenn man bloß die weiße Papierfläche *c* sich spiegeln lässt, sie aber ungleichmäßig beleuchtet, so dass das Spiegelbild an verschiedenen Stellen ungleiche Helligkeit hat. In allen diesen Fällen tritt dann zugleich jene Modification der Spiegelung ein, die wir Glanz nennen. Wir bezeichnen in der That eine Oberfläche namentlich dann als spiegelnd oder durchsichtig, wenn sie deutliche Spiegelbilder entwirft,

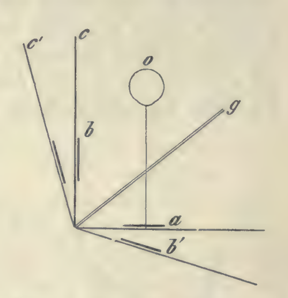


Fig. 297. Monoculare Spiegelungs- und Glanzerscheinungen.

während sich doch ihre Anwesenheit durch irgend welche Merkmale, wie Conturen, greller beleuchtete Stellen u. dgl. verräth. Wir nennen dagegen eine Oberfläche glänzend, wenn entweder das entworfene Spiegelbild an sich sehr undeutlich ist, oder wenn durch Ungleichheiten der spiegelnden Fläche die deutliche Wahrnehmung desselben verhindert wird. Meistens treffen diese beiden Momente zusammen, da Ungleichheiten der spiegelnden Oberfläche, welche die Aufmerksamkeit auf sich ziehen, in der Regel zugleich die Deutlichkeit des Spiegelbildes beeinträchtigen[1]. Man kann demnach Glanz künstlich auch dadurch hervorbringen, dass man hinter einander mehrere gleichzeitig durchsichtige und reflectirende dünne Platten auf einer das Licht nicht durchlassenden Unterlage über einander schichtet. Die aus verschiedenen Entfernungen reflectirten Strahlen erzeugen dann einen äußerst lebhaften Glanz, der je nach der Farbe der durchsichtigen Plättchen dem Glanz verschiedener Metalloberflächen täuschend ähnlich sieht[2].

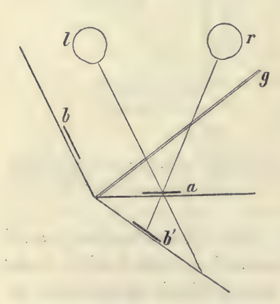


Fig. 298. **Binoculare Spiegelungs- und Glanzerscheinungen.**

Ganz diesen monocularen Erscheinungen der Spiegelung und des Glanzes entspricht nun der stereoskopische Glanz. In der That kann man denselben genau so wie im Stereoskop auch mittelst einer spiegelnden Glasplatte binocular hervorbringen, wenn man z. B. den Versuch in der in der Fig. 298 dargestellten Weise einrichtet, wo das spiegelnde Object *a* von beiden Augen, das Spiegelbild *b'* aber nur vom rechten Auge gesehen wird: auch hier entsteht, wie im Stereoskop, je nach Umständen Spiegelung oder Glanz.

Spiegelung und Glanz sind demnach Erscheinungen, die nicht dem binocularen Sehen als solchem eigenthümlich sind, die aber offenbar bei ihrer binocularen Erzeugung, wie sie das Stereoskop nachahmt, dadurch verstärkt werden können, dass die Eindrücke bestimmter von einander gesondert und auf verschiedene Objecte bezogen werden. Denn überall setzen sich diese Erscheinungen aus zwei Factoren zusammen. Davon gehört der erste der unmittelbaren Empfindung an, er hängt sichtlich mit

[1] Wundt, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, S. 300 ff.

[2] A. Kirschmann, Der Metallglanz und die Parallaxe des indirecten Sehens. Philos. Stud. Bd. 11, 1895, S. 147 ff. Ich besitze eine von Prof. Kirschmann hergestellte Collection aus Combinationen von Gelatine- und Glimmerplättchen hergestellter Objecte, die bei auffallendem Licht von polirten Gold- Messing-, Stahl-, Kupfer-, Silber-, Platinoberflächen kaum zu unterscheiden sind.

der abweichenden Accommodation zusammen, welche die in gleicher Richtung, aber verschiedener Entfernung gelegenen Objecte fordern. Indem das deutliche Bild irgend eines Punktes der spiegelnden Fläche immer zugleich von einem Zerstreuungskreis des am gleichen Punkt aus größerer Ferne kommenden Lichtes umgeben wird, entsteht um so mehr, je diffuser jener Zerstreuungskreis ist, der Eindruck des Glanzes, dessen charakteristischer Empfindungsinhalt demnach eben in dieser eigenthümlichen Verbindung deutlichen und undeutlichen Sehens besteht. Der zweite Factor fällt in das Gebiet der Vorstellungsbildung. Eben jene Verbindung deutlich gesehener Punkte mit Zerstreuungskreisen bewirkt nämlich auch eine gewisse Zerlegung der auf eine und dieselbe Stelle der Netzhaut oder bei binocularem Sehen auf correspondirende Stellen beider Netzhäute fallenden Eindrücke. Die Helligkeiten und Farben mischen sich nicht vollständig, sondern das in Zerstreuungskreisen Gesehene wird um so mehr, je mehr es zugleich qualitativ abweicht, gesondert. Dadurch wird, sobald das wirklich oder scheinbar gespiegelte Object irgend welche selbständige Conturen oder Punkte besitzt, die Vorstellung zweier hinter einander gelegener Objecte erweckt, eines durchsichtigen und eines hindurchgesehenen, welche Vorstellung, sobald das gespiegelte Licht diffus wird und deutliche Punkte oder Conturen nicht mehr erkennen lässt, in Glanz übergeht.

Eine von dem stereoskopischen Glanz verschiedene, aber sich nicht selten mit ihm vermischende Erscheinung ist sodann der binoculare Contrast. In der allgemeinen Richtung der Erscheinungen entspricht er durchaus dem monocularen Contraste. Wie bei diesem jede Farbenerregung eine zu ihr complementäre Farbenstimmung in der unmittelbaren Umgebung der gereizten Netzhautstelle hervorruft, so erscheint, wenn die Netzhaut des einen Auges mit irgend einer Farbe gereizt wird, auf der des andern die Complementärfarbe. Ist die gereizte Stelle der ersten Netzhaut eine beschränkte, so breitet sich gleichwohl über die ganze Netzhaut des andern Auges die complementäre Contrasterregung aus. Als eine unmittelbare Folge dieser ausgedehnten Wirkung ist es wohl anzusehen, dass, wenn beide Netzhäute gleichzeitig mit complementärem Lichte gereizt werden, die zurückbleibenden Nachbilder von weit längerer Dauer als nach monocularer Reizung sind[1]. Werden dagegen die binocular contrastirenden Reize unmittelbar während ihrer Einwirkung beobachtet, so ist stets, falls nicht in der oben beschriebenen Weise Glanz und durch diesen Mischung der Empfindungen eintritt, der hellere

[1] FECHNER, Ueber einige Verhältnisse des binocularen Sehens. Abhandlungen der sächs. Ges. der Wiss. Math.-phys. Cl. Bd. 5, 1861, S. 469 ff.

Eindruck durch den Contrast zu dem dunkleren verstärkt, so dass der letztere ganz verschwinden kann. Hierauf beruhen zumeist die »Verdrängungserscheinungen« bei diffuser binocularer Reizung, bei denen demnach die verdrängte Empfindung nicht überhaupt unwirksam wird, sondern sich vielmehr gerade in dieser Contrasthebung der sie verdrängenden Empfindung bethätigt. Einen schönen Beleg hierfür bietet FECHNERS sogenannter »paradoxer Versuch«: Blickt man mit dem einen Auge frei in den Himmel, während das andere geschlossen ist, und bringt man vor dieses ein graues Glas, so wird, sobald sich das geschlossene Auge öffnet, das gemeinsame Gesichtsfeld verdunkelt. Das Grau dieses Glases verdunkelt also mehr als das vorangehende Schwarz bei geschlossenem Auge. Die Verdunkelung vermindert sich aber, wenn man ein helleres graues Glas wählt; und von einer gewissen Grenze an nimmt die scheinbare Helligkeit nicht mehr ab sondern zu. Diese ganze Erscheinung erklärt sich offenbar daraus, dass die Empfindungen erst von dem Augenblicke an Mischungswirkungen hervorbringen, wo die beiden Helligkeiten einander nahe kommen, während andernfalls das dunkle Gesichtsfeld den hellen Eindruck des andern Auges durch Contrast hebt, wobei es selber zugleich im Gesammtbild verschwindet[1].

Diese durch die Verhältnisse des binocularen Sehens bedingte Verbindung des Contrastes mit Verdrängungserscheinungen tritt ferner noch in besonders intensiver Weise bei dem Phänomen des binocularen

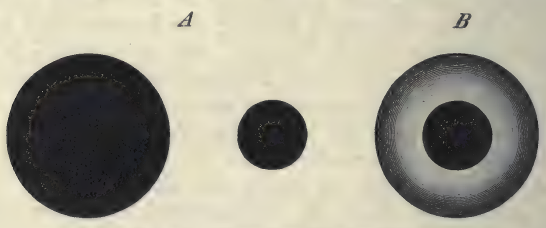


Fig. 299. Binocularer Randcontrast.

Randcontrastes hervor. In seiner unmittelbaren Erscheinung dem monocularen Randcontraste verwandt, unterscheidet sich derselbe doch, gerade so wie die oben erwähnten contrastirenden Farbenstimmungen, durch seine weitere räumliche Ausdehnung. Außerdem verbindet er sich in der Regel mit Durchsichtigkeits- und Glanzphänomenen, deren Auftreten durch die

[1] FECHNER, a. a. O. S. 416. WUNDT, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, S. 355.

Conturen, die der Randcontrast fordert, ebenfalls begünstigt wird. Bringt man z. B. die beiden schwarzen Kreise in Fig. 299 *A* im Stereoskop zur Deckung, so erscheint das Verschmelzungsbild *B*. Man hat aber dabei zugleich den Eindruck, als werde der kleinere Kreis samt seiner nächsten Umgebung durch den größeren hindurch gesehen. Die nämliche Erscheinung entsteht, wenn man mit dem einen Auge durch eine offene Röhre auf eine helle Fläche blickt, mit dem andern durch eine gleiche Röhre, die vorn bis auf eine kleine Oeffnung verschlossen ist. Man sieht dann im Sammelbild einen hellen Fleck umgeben von einem dunkeln Rand, der gegen die Peripherie hin allmählich heller wird. Auch an farbigen Objecten lassen sich diese binocularen Randcontraste hervorbringen, und sie bilden dann gerade durch ihre Verbindung mit Spiegelung und Glanz überaus reizvolle Phänomene[1]. Häufen sich dagegen die Randcontraste dadurch, dass mehrere in gleichem Sinne wirkende Conturen auftreten, so kann auch diese Erscheinung in Folge der weiten Ausdehnung der binocularen Contrastwirkungen in totale Verdrängung übergehen. So geben die beiden Vierecke *A* und *B* in Fig. 300, wenn man sie auf grauem Grunde combinirt, lebhaften Glanz; dieser verschwindet aber augenblicklich, wenn man, wie in *A'*, das weiße Viereck mit schwarzen Linien durchzieht: es nimmt dann das vereinigte Bild vollständig die Form *A'* an, und *B* wird verdrängt.



Fig. 300. Verdrängung durch gehäuften Randcontrast.

Neben Glanz und Contrast übt endlich die Richtung der Blickbewegungen einen wichtigen Einfluss bei der binocularen Vereinigung disparater Bilder aus. Wo sich irgend welche verschieden verlaufende Conturen in beiden Sehfeldern vorfinden, da treten nämlich im Sammelbilde stets diejenigen Conturen hervor, in deren Richtung die Blickbewegung verläuft, während die damit nicht übereinstimmenden des andern Halbbildes zurücktreten. Wenn man z. B. die beiden parallelen Linienpaare *A* und *B* in Fig. 301 stereoskopisch vereinigt, so bleibt im Sammelbilde sowohl das verticale wie das horizontale Linienpaar bestehen, nur an der Durchkreuzungsstelle tritt abwechselnd das eine oder das andere in den Vordergrund; es entsteht also entweder ein Bild wie *C* oder wie

[1] Schöne Abbildungen dieser Erscheinungen gibt PANUM (Das Sehen mit zwei Augen. 1858), der sie zuerst eingehend geschildert hat.

die um 90° gedrehte Fig. *C*. Zieht man auf der einen Seite oder auf beiden mehrere parallele Linienpaare in größerem Abstande von einander, so zeigt sich, dass für sie alle in jedem Augenblick dieselbe Art der Verdrängung existirt: es treten immer entweder die verticalen oder die horizontalen Linien an den Kreuzungsstellen hervor. Dieser Wechsel ist aber

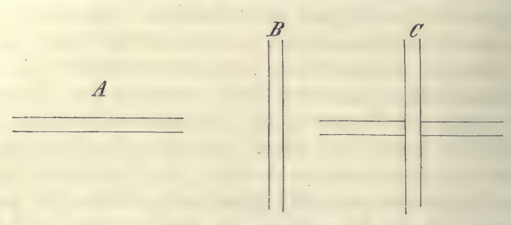


Fig. 301. Einfluss der Blickbewegung auf das binoculare Sammelbild.

vollkommen eindeutig durch die Richtung der Blickbewegung bestimmt, und man kann ihn daher willkürlich hervorbringen, wenn man diese

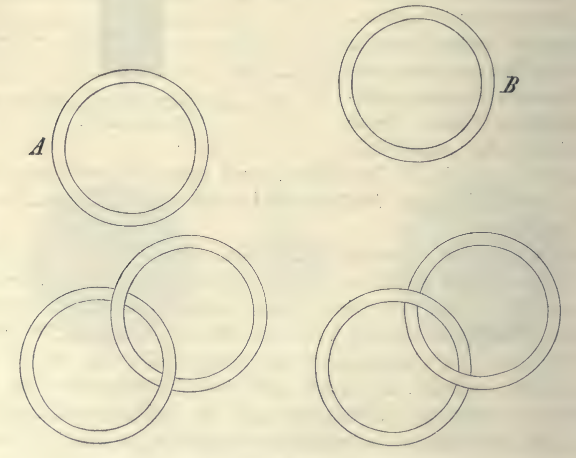


Fig. 302. Ringe im binocularen Sammelbild.

variirt. Bei verticaler Blickbewegung tritt unweigerlich jedesmal das Bild *C*, bei horizontaler das umgekehrte Bild hervor. Auch diese Verdrängungen verbinden sich wieder meist mit Spiegelungserscheinungen. Es ist ganz besonders dieser Einfluss der Blickbewegung, der dem eigent-

lichen »Wettstreit der Sehfelder« zu Grunde liegt, d. h. jenem Phänomen, bei dem von den zwei den beiden Augen dargebotenen Bildern abwechselnd nur das eine oder das andere und bloß in Uebergangsmomenten zuweilen eine Combination beider gesehen wird. Dieses eigentliche Wettstreitsphänomen ist darum im ganzen eine Ausnahmeerscheinung, die besonders dann beobachtet wird, wenn die beiden Bilder entgegengesetzte Wirkungen auf die Blickbewegung ausüben. Deutliche Fälle solchen Wettstreits bieten z. B. die Figuren 302 und 303. In Fig. 302 zeigt das Sammelbild der beiden in ungleicher Höhe angebrachten Ringe *A* und *B* entweder die unter *A* oder die unter *B* gezeichnete Form: die erstere, bei der die verticalen Conturen überwiegen, lässt sich willkürlich durch verticale Blickbewegungen erzeugen, die zweite durch horizontale. Bringt man, wie in Fig. 303, in beiden Bildern ganze Liniensysteme von entgegengesetzter Richtung an, die sich aber im Sammelbilde nirgends decken,

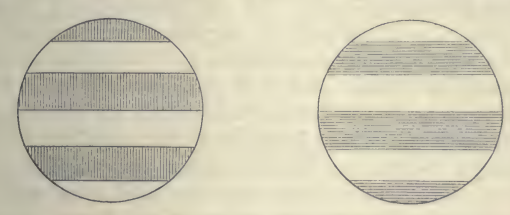


Fig. 303. Object für den Wettstreit der Sehfelder.

so treten die eigentlichen Wettstreitsphänomene am leichtesten auf; und hier kann in einzelnen Momenten auch ein zusammengesetztes Sammelbild erscheinen. Doch ist dasselbe besonders an den Uebergängen der vertical und horizontal schraffirten Streifen unsicher, stellenweise lückenhaft, so als wenn das eine Object durch das andere hindurch gesehen würde. Sobald man eine bestimmte Richtung der Blickbewegung bevorzugt, so tritt aber auch hier wieder das entsprechende monoculare Bild allein auf.

So ist überhaupt, wo immer die Bedingungen zu einem Wettstreit gegeben sind, in jedem Moment dasjenige Bild bevorzugt, dessen Conturen in gleicher Richtung mit der zufällig oder absichtlich gewählten Blickbewegung verlaufen[1]. Dagegen hat die Aufmerksamkeit, die man zuweilen auch für diese Phänomene verantwortlich gemacht hat, auf sie ebenso wenig wie auf die des binocularen Contrastes, namentlich des Randcontrastes, irgend einen Einfluss. Die Erscheinungen folgen, wie alle

[1] Wundt, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung, S. 362.

andern des normalen monocularen und binocularen Sehens, mit zwingender Nothwendigkeit aus ihren Bedingungen. Zugleich sind sie aber von den Wirkungen monocularer Mischung der Eindrücke wesentlich verschieden und entsprechen im allgemeinen, ganz ebenso wie die normalen stereoskopischen Tiefenwahrnehmungen, durchaus den eigenartigen Verhältnissen des binocularen Sehens. Darum sind die Spiegelung und der Glanz die Grunderscheinungen für alle Fälle binocularer Verbindung von Eindrücken, die von den gewöhnlichen Verhältnissen des Sehens irgendwie abweichen. Auch die scheinbare Mischung ist nur ein Grenzfall, bei dem wir uns vorstellen können, das nach verschiedener Richtung gespiegelte Licht besitze bloß einen sehr geringen Helligkeits- oder Farbenunterschied. Die stereoskopische Combination gibt hier in der That denselben Eindruck, den ein Körper erwecken würde, der für beide Augen etwas verschieden beleuchtet wäre: es entsteht so im Grunde nur ein binocularer Glanz geringsten Grades. Bei der Verdrängung liegt derselbe Fall vor, wie er in Wirklichkeit bei der Betrachtung eines gespiegelten Gegenstandes stattfindet, der durch Farbe und Lichtstärke so vorherrscht, dass die spiegelnde Fläche selbst nicht gesehen wird. In die Wettstreitsphänomene endlich, die von den Vorkommnissen des natürlichen Sehens am meisten abweichen, spielen immer noch die Spiegelungserscheinungen hinein. An den Stellen, wo das eine Object das andere verdrängt, erscheint dieses durchsichtig; doch kann es dabei nicht mehr zu einer ruhigen Auffassung kommen, weil jedes Object ebenso gut als durchsichtiges wie als hindurchgesehenes vorgestellt werden kann. Aus der Gesammtheit dieser Erfahrungen folgt demnach, dass die Eindrücke beider Augen niemals wie die Erregungen einer und derselben Netzhaut sich mischen, dass sie aber stets zu einer einzigen, den allgemeinen Functionsbeziehungen der beiden Augen entsprechenden Vorstellung verschmelzen.

Die Erfindung des Stereoskops durch Wheatstone[1] bezeichnet einen der bedeutsamsten Fortschritte in der Erkenntniss der Bedingungen des räumlichen Sehens. Wheatstone selbst wurde zu seiner Erfindung erst dadurch geführt, dass er auf die natürlichen Verschiedenheiten der Bilder naher körperlicher Objecte in beiden Augen aufmerksam wurde. Da nun alle im Stereoskop sich bietenden Erscheinungen auch mit freiem Auge wahrgenommen werden können, so sind stereoskopische Versuche ohne Stereoskop, wie sie zu der vorangegangenen allgemeinen Darstellung der Verhältnisse des Binocularsehens herangezogen wurden, nicht zu entbehren. Zur Einübung derartiger Versuche, bei denen es hauptsächlich auf eine willkürliche Beherrschung der Blickbewegungen ankommt, bedient man sich zweckmäßig des folgenden

[1] Wheatstone, Poggendorffs Annalen, Ergänzungsbd. 1842, S. 9.

Verfahrens. Man wählt zunächt zwei einfache lineare Objecte, z. B. zwei verticale Stäbe, die man durch Kreuzung der Gesichtslinien bald vor bald hinter ihnen zum Verschmelzen bringt. Hat man auf diese Weise gelernt, nach Willkür einen imaginären Blickpunkt zu wählen, so gelingt dann auch leicht die Combination einfacherer stereoskopischer Zeichnungen, wie der Fig. 288 oder 289 (S. 607 u. 609). Man erhält hierbei von jeder der beiden Zeichnungen Doppelbilder, die nach der auf S. 605 gegebenen Regel bei der Convergenz hinter dem Object gekreuzte sind. Wenn man jetzt die beiden mittleren Halbbilder zur Verschmelzung bringt, so entspricht demnach bei der Convergenz hinter dem Object die rechts gelegene Zeichnung der Figg. 288 u. 289 dem Halbbild des rechten, die links gelegene dem des linken Auges; umgekehrt bei der Convergenz vor dem Object. Man bemerkt daher, dass das Gesammtbild erhaben erscheint, die abgestumpfte Spitze dem Beobachter zugekehrt, wenn man die Zeichnungen durch Fixation eines hinter ihnen gelegenen Punktes zur Vereinigung bringt; das Relief kehrt sich um, das Bild erscheint vertieft, wenn man den Blickpunkt vor den Zeichnungen wählt. Es tritt hier derselbe Effect ein, den man durch Vertauschen der für das rechte und linke Auge bestimmten Bilder im Stereoskop erhält. Zu stereoskopischen Versuchen bei momentaner Erleuchtung durch den elektrischen Funken dient ein innen geschwärzter Kasten aus Holz oder Pappdeckel, an dem sich auf der einen Seite zwei Löcher in der Distanz der beiden Augen befinden. Diesen Löchern gerade gegenüber ist ein Schieber angebracht, auf dem die stereoskopischen Zeichnungen befestigt werden. Um vor eintretender Erleuchtung den Blickpunkt zu fixiren, ist die Mitte jeder Zeichnung samt dem Schieber durchbohrt: die beiden auf diese Weise entstehenden Lichtpunkte müssen durch Convergenz vor oder hinter denselben verschmolzen werden. Die überspringenden Funken sind dem Auge durch eine kleine Papierfläche verdeckt, welche auf der den Drähten zugekehrten Seite weiß gelassen ist, so dass sie das Licht nach den Zeichnungen hin reflectirt. Zur Erleuchtung wendet man die Funken der secundären Spirale eines RUHMKORFF'schen Inductionsapparates an, die mit den Belegen einer Leydener Flasche verbunden werden[1]. Um die Versuche bei Tageslicht ausführen zu können, construirte übrigens VOLKMANN auch ein Tachistoskop, dessen Benutzung sich, weil dabei die störenden Wirkungen der Dunkeladaptation hinwegfallen, empfehlen dürfte[2].

Für die meisten stereoskopischen Versuche zu psychologischen Zwecken ist das oben beschriebene BREWSTER'sche Stereoskop ausreichend. Für manche Fragen verdient aber das von WHEATSTONE ursprünglich construirte Spiegelstereoskop in

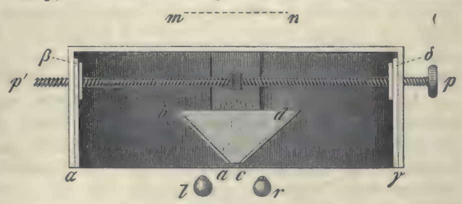


Fig. 304. Spiegelstereoskop nach WHEATSTONE.

[1] Vgl. DOVE, Berichte der Berliner Akademie, 1841, S. 252. HELMHOLTZ, Physiologische Optik[1], S. 567, [2] S. 710.

[2] VOLKMANN, Berichte der sächs. Ges. der Wiss. 1850, S. 90. Ueber tachistoskopische Vorrichtungen im allgemeinen vgl. Abschn. V.

der in Fig. 304 dargestellten Modification den Vorzug. Dasselbe besteht aus zwei Spiegeln *a b* und *c d*, deren Rückseiten einen Winkel von 90° mit einander bilden, *α β* und *γ δ* sind zwei Brettchen, vor welche den Spiegeln gegenüber die beiden Zeichnungen gelegt werden. Blickt nun das linke Auge in den Spiegel *a b*, das rechte in den Spiegel *c d*, so sieht man ein Bild, das einem bei *m n* gelegenen Object anzugehören scheint. Da aber die Spiegel rechts in links verkehren, so müssen die Zeichnungen die entgegengesetzte Lage erhalten wie in dem Prismenstereoskop. Bei einer Lage, bei der sie in letzterem erhöhtes Relief zeigen, geben sie im Spiegelstereoskop vertieftes, und umgekehrt. Für psychologische Versuche ist es ferner wünschenswerth, die Entfernung der Zeichnungen von den Spiegeln zu variiren. Zu diesem Zweck ist die Schraube *pp'* angebracht, durch deren Anziehen die beiden Wände *α β* und *γ δ* den beiden Spiegeln um gleiche Größen genähert werden können. Außerdem kann man den Neigungswinkel der beiden Spiegel veränderlich machen. Bringt man nun bei unveränderlichem Neigungswinkel der Spiegel die Zeichnungen in wechselnde Entfernungen von denselben, so bleibt die Convergenz der Blicklinien unverändert, aber die Größe der Netzhautbilder wächst, wenn man die Zeichnungen näher rückt, und sie nimmt ab, wenn man sie entfernt: dies erweckt den Schein, als ob der körperlich gesehene Gegenstand am selben Orte bleibe, aber abwechselnd größer und kleiner werde. Lässt man umgekehrt die Zeichnungen unverrückt, während der Neigungswinkel der Spiegel verändert wird, so verändert sich bei gleichbleibender Größe der Netzhautbilder die Convergenz der Gesichtslinien: wird der Winkel zwischen den Spiegeln stumpfer, so nimmt die Convergenz ab, wird der Winkel spitzer, so nimmt sie zu. Im ersten Fall vermehrt sich die scheinbare Entfernung der Bilder, im zweiten vermindert sie sich. Hierbei bemerkt man dann stets, dass sich die scheinbare Größe des Gegenstandes im gleichen Sinne verändert, was der Erfahrung entspricht, dass bei gleichbleibendem Gesichtswinkel ein Gegenstand um so größer erscheint, in je größere Entfernung er verlegt wird.

Auf die Idee des Spiegelstereoskopes geht das von HELMHOLTZ erfundene Telestereoskop zurück, welches plastische Bilder von wirklichen, aber entfernteren Gegenständen, z. B. von Landschaften, vermittelt. Zu diesem Zweck ist die Rückwand des WHEATSTONE'schen Apparates hinweggenommen, und an Stelle der beiden Wände *α β* und *γ δ* befinden sich zwei schräggestellte, nach vorn offene Spiegel *A* und *B* (Fig. 305). Die von den entfernten Gegenständen kommenden Strahlen werden dann von diesen äußeren Spiegeln nach den inneren *a* und *b* des Stereoskops reflectirt und gelangen von da in die beiden Augen *r* und *l* des Beobachters. Dieser sieht demnach die Gegenstände mit beträchtlich vergrößerter Basaldistanz, so als wenn sich seine beiden Augen bei *R* und *L* befänden[1]. An das Telestereoskop hat sich eine Reihe weiterer Erfindungen angeschlossen, die zur stereoskopischen Beobachtung theils kleinerer, mikroskopischer, theils größerer, terrestrischer oder astronomischer Objecte sowie zur Messung von Distanzunterschieden derselben dienen: so das binoculare Mikroskop, das Doppelfernrohr mit erweitertem Objectivabstand, der Stereocomparator u. a.[2]. Bei allen diesen technisch-wissenschaft-

[1] HELMHOLTZ, Physiologische Optik[1], S. 648, [2] S. 793 f.

[2] Vgl. über einige dieser Instrumente C. PULFRICH, Zeitschrift für Instrumentenkunde, Bd. 12, 1902, S. 65, 133 ff.

lichen Zwecken dienenden Instrumenten kommt, als ein Moment, das auch für die psychologischen Verhältnisse des binocularen Sehens von Interesse ist, dies in Betracht, dass man sich durchweg bei denselben, soweit sie zugleich als Messungshülfsmittel Verwendung finden, auf die vollkommene Gleichwerthigkeit der binocularen stereoskopischen und der monocularen Sehschärfe stützt. Die nämlichen kleinsten Distanz- und Richtungsunterschiede, die im Netzhautbilde des einzelnen Auges noch eben erkennbar sind, können in der That mit voller Schärfe auch an den plastischen Effecten wahrgenommen werden, die sie bei stereoskopischer Combination hervorbringen[1]. Dabei bietet aber die stereoskopische Methode zugleich den Vortheil, dass selbst undeutliche Conturen, wie die von Rauch oder Wolken, deren Abstandsverhältnisse der monocularen Messung Schwierigkeiten bereiten, deutliche und quantitativ

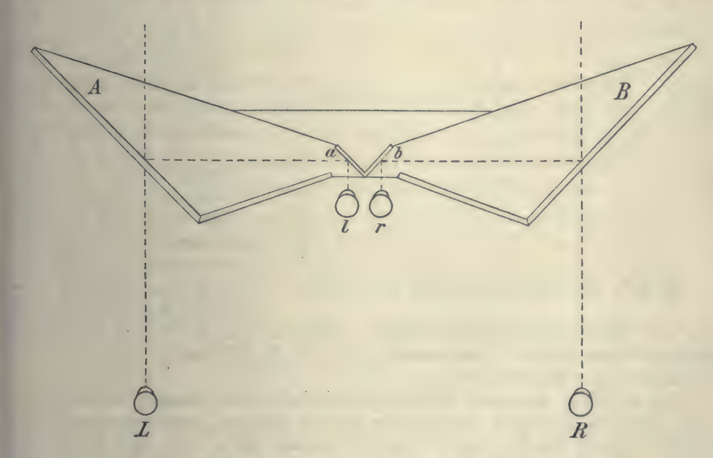


Fig. 305. Telestereoskop nach HELMHOLTZ.

bestimmbare Tiefeneffecte erzeugen, so dass in dieser Beziehung die stereoskopischen den gewöhnlichen Messungen gegenüber sogar überlegen sind.

Zu manchen messenden Versuchen über binoculares Sehen, bei denen es nicht sowohl auf die Erzeugung bestimmter Tiefenwirkungen als vielmehr auf die Bestimmung der Orientirungsverhältnisse beider Netzhäute zu einander ankommt, eignet sich besser als das Stereoskop das von HERING construirte »Haploskop«, das im wesentlichen ein Stereoskop ohne Prismen und Linsen ist. Es besteht aus zwei cylindrischen Röhren, deren Achsen mit den Blicklinien beider Augen zusammenfallen. In einer dem Fernpunkt des etwas

[1] So fand HERING, dass feine Linien einer Glastafel bei dem gleichen Distanzunterschied von 11—12 Sec., der im monocularen Sehen der äußersten Grenze der Sehschärfe entspricht, auch einen stereoskopischen Effect hervorbrachten. (Sitzungsber. der sächs. Ges. der Wiss. Math.-phys. Cl. 1899, S. 23.)

kurzsichtigen oder durch eine Convexbrille kurzsichtig gemachten Auges entsprechenden Entfernung befindet sich ein verticaler weißer Schirm, zu dem die beiden in annähernder Parallelstellung befindlichen Blicklinien senkrecht sind. Auf dem Schirm sind ferner zwei Fixationsmarken f und f' angebracht, von welchen aus beliebig verschiebbare verticale oder horizontale Linien auf dem Schirm bewegt und sowohl in ihren Distanzen wie Winkelneigungen variirt werden können. Lässt man z. B., wie in Fig. 306, links von f aus eine verticale Linie nach oben, rechts von f' aus eine ebensolche nach unten gehen, so müssen, wenn beide Augen die Punkte f und f' fixiren, den zwei Verticalen die in der Figur gezeichneten Neigungen gegeben werden, damit die Halbbilder A und B in dem Sammelbilde C ungebrochen als eine einzige in der Medianebene liegende Verticale erscheinen. Auf diese Weise lässt sich also die oben in Fig. 265, S. 561 dargestellte Abweichung der beiden scheinbar verticalen Netzhautmeridiane von der wirklichen Verticalen messen. Auch zu den auf S. 594 erwähnten Beobachtungen über die Fusionsbewegungen der Augen lässt sich diese haploskopische Methode verwenden[1].

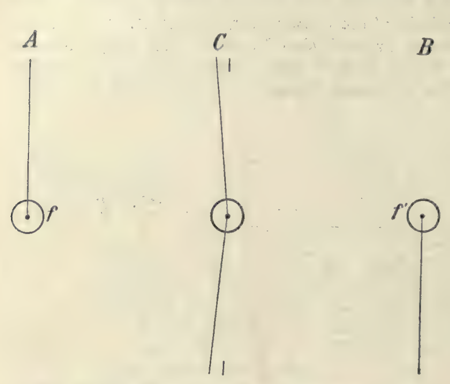


Fig. 306. Haploskopische Methode nach Hering.

So sorgfältig nun auch die stereoskopischen Erscheinungen, soweit sie in das Gebiet des regulären körperlichen Sehens gehören, theils um ihrer theoretischen, theils um ihrer praktischen Bedeutung willen nach allen Seiten erforscht sind, so wenig haben doch die im Obigen behandelten Wirkungen der Vereinigung nicht zusammenstimmender Bilder meist eine zureichende Beachtung gefunden. Schon die Schilderung dieser Erscheinungen, die doch für die Erkenntniss der functionellen Wechselbeziehungen beider Sehorgane von hohem Interesse sind, ist in der Regel eine ungenügende, und sie wird durchweg von dem Vorurtheil beherrscht, dass die Mischung der binocularen Eindrücke eigentlich das Normale und Selbstverständliche sei, während man alles was dazu nicht stimmen will, wie den Wettstreit, besonders aber auch die Erscheinungen des binocularen Randcontrastes, dem willkürlichen Spiel der Aufmerksamkeit zuschiebt. Als wenn niemals ein Stereoskop erfunden wäre,

[1] Hering, Hermanns Handbuch der Physiologie, Bd. 3, I, S. 355 ff. Einen für andere Zwecke bestimmten, aber im Princip dem Hering'schen Haploskop ähnlichen Apparat, ein Stereoskop ohne Linsen und Prismen oder Spiegel, hat C. Pulfrich construirt. Er besteht aus zwei Röhren von 1 m Länge, an deren einem Ende sich Schlitze für die beiden Augen, und an deren anderem sich ein Kasten für die Stereoskopbilder befindet. (Zeitschrift für Instrumentenkunde, Bd. 11, 1901, S. 221.)

hält man bei allen diesen über das Gebiet der normalen Stereoskopie hinausreichenden Phänomenen in der Regel noch an dem Dogma der Identität der beiden Netzhäute fest. Und doch zeigt sich bei jedem Schritt auf diesem Gebiet, dass hier so wenig wie bei dem körperlichen Sehen das Bild eine bloße Addition der zwei monocularen Eindrücke ist, sondern dass das Binocularsehen auch in diesem Fall seine Eigenart bewahrt, wie sich dies besonders in den Erscheinungen des stereoskopischen Glanzes und in der Wirkung der Fixationslinien zu erkennen gibt.

f. Directe und associative Factoren der Tiefenvorstellung im binocularen und monocularen Sehen.

Flächen- und Tiefenvorstellung bilden natürlich niemals thatsächlich von einander zu trennende Bestandtheile unserer Gesichtswahrnehmung. Vielmehr ist jede Vorstellung Flächen- und Tiefenvorstellung zugleich: wir sehen die Gegenstände in irgend einer Fläche angeordnet, und wir verlegen sie außerdem in irgend eine bald bestimmtere, bald auch nur sehr unsichere Tiefenentfernung. Was uns zu einer Sonderung dieser beiden an sich untrennbaren Bestandtheile jeder Gesichtswahrnehmung veranlasst, das ist nun aber auch nicht, wie die Ausdrücke Fläche und Tiefe es vermuthen lassen könnten, irgend ein Unterschied in den Eigenschaften der Gegenstände selbst, sondern lediglich das Verhältniss zu dem sehenden Subject: Flächenvorstellung ist das Raumverhältniss, das wir den gesehenen Punkten zu einander, Tiefenvorstellung dasjenige, das wir ihnen zum Sehenden anweisen. Darum bildet jeder gesehene Punkt im Raum ebenso ein Element einer Flächen- wie einer Tiefenvorstellung: er steht, da wir uns den Punkt nie ohne eine Umgebung vorstellen können, in Relation zu andern Punkten, und, da jede Gesichtsempfindung in Bezug auf uns selbst orientirt ist, in Relation zum sehenden Subjecte. Hier aber sind es wieder die beiden Factoren der Richtung und der Entfernung, die im binocularen wie monocularen Sehen in jede Tiefenvorstellung eingehen: die Richtung wird binocular durch die Orientirungslinie (Fig. 284, S. 602), monocular durch die Visirlinie bestimmt, die Entfernung binocular durch die Distanz von dem gemeinsamen Orientirungspunkt (*m* Fig. 284), monocular durch die Entfernung von dem Kreuzungspunkt der Visirlinien, dem Mittelpunkt der Pupille (S. 515 f.).

Primäre oder directe Factoren einer Tiefenvorstellung können wir nun allgemein diejenigen erzeugenden Bedingungen derselben nennen, die unmittelbar in dem Wahrnehmungsvorgang selbst enthalten sind, so dass sie an sich irgend welcher vorausgegangener Vorstellungen nicht bedürfen, wenn auch selbstverständlich der Einfluss der Wiederholung gleicher Einwirkungen hier so wenig wie bei andern Vorgängen, bei denen wir der sogenannten »Uebung« einen Einfluss zuschreiben, aus-

geschlossen ist. Secundäre oder associative Factoren können wir dann dem gegenüber solche nennen, die an sich nicht der Wahrnehmung selbst angehören, sondern aus früheren Vorstellungen herstammen, wobei übrigens diese, so viel sich nachweisen lässt, nie als irgend welche concrete Einzelvorstellungen, sondern immer nur in der Form zahlreicher Vorstellungselemente wirksam werden, die wieder sehr abweichenden Wahrnehmungsinhalten angehören. Wie es keine gesonderten Flächen- und Tiefenvorstellungen gibt, so gibt es nun auch schlechthin keine Gesichtsvorstellungen, in deren Bildung sich nicht primäre und secundäre Factoren in dem angegebenen Sinne vereinigten, wenn sich auch bald mehr die einen bald mehr die andern unserer Beachtung aufdrängen. Treffende Belege für dieses Verhältniss liefern hier wieder die früher betrachteten geometrisch-optischen Täuschungen (S. 544 ff.). Bei den umkehrbaren perspectivischen Täuschungen besteht der primäre, directe Factor in der Lage des ersten Fixationspunktes und in der Richtung der von diesem ausgehenden Blickbewegung: dieser Factor bestimmt in vollkommen eindeutiger Weise die Richtung der eintretenden Vorstellung. Diese selbst würde aber nicht entstehen können ohne eine Menge disponibler Vorstellungen von verwandtem Charakter, deren Elemente sich assimilativ mit denen des directen Eindruckes vereinigen. Anderseits besteht bei den variabeln Strecken- und Richtungstäuschungen das primäre, in diesem Fall die ganze Beschaffenheit der Vorstellung bedingende Moment in bestimmten Motiven der Bewegungsenergie, die gewisse Strecken oder Winkel relativ vergrößert oder verkleinert erscheinen lassen. Auch hier fehlt es aber auch nicht an dem associativen Factor: er macht sich in den perspectivischen Nebenvorstellungen geltend, welche die Täuschung mit dem Netzhautbild in Uebereinstimmung bringen. Tritt bei den Täuschungen der ersten Art, den umkehrbaren, dieser Factor so sehr hervor, dass man darüber meist den directen ganz übersehen und daher diese Vorstellungen lediglich als zufällige Spiele der »Einbildungskraft« interpretirt hat, so verhält es sich mit den variabeln Täuschungen umgekehrt: hier können die associativ erweckten perspectivischen Nebenvorstellungen übersehen werden und zuweilen thatsächlich unter der Wirkung entgegengesetzter Motive verschwinden. Da nun aber diese letzteren ebenfalls wieder durchweg associativer Art sind, so wird dadurch der allgemeine Satz nicht aufgehoben, dass sich in jeder Tiefenvorstellung des Gesichtssinns directe und associative Factoren auf das innigste durchdringen.

Nun liegt es weiterhin in der Natur dieser beiden Factoren begründet, dass die primären im binocularen und im monocularen Sehen von wesentlich abweichender Beschaffenheit sind, und dass hier das erstere insofern

dem letzteren übergeordnet ist, als alle Momente, die monocular zur Wirksamkeit gelangen, auch dem Doppelauge zur Verfügung stehen, während dieses noch über alle jene weiteren Momente der Synergie der Bewegungen und der Empfindungen verfügt, die ihm eben als einem zusammengesetzten Organ eigen sind. Anders verhält sich dies mit den secundären Factoren: sie können an sich in vollkommen gleicher Weise hier wie dort wirksam werden; und eher bietet in diesem Fall das monoculare Sehen den associativen Einflüssen insofern einen weiteren Spielraum, als es mancher der Gegenwirkungen entbehrt, die in der vollkommeneren Functionsweise der primären Factoren dem Doppelauge eigenthümlich sind. Dem entspricht in der That die Erfahrung, dass durchweg diese associativen Motive der Tiefenvorstellungen durch die Beschränkung auf das monoculare Sehen begünstigt werden.

Dieses ganze Verhältniss bringt es übrigens selbstverständlich mit sich, dass für die Theorie der Bildung der Sinnesvorstellungen die primären Factoren der Vorstellungsbildung im Vordergrund des Interesses stehen, während die secundären oder associativen bereits in das Gebiet der zusammengesetzten psychischen Processe hinüberführen. Bei der ungeheuren, gewöhnlich viel zu sehr unterschätzten Bedeutung, welche diese associativen Einflüsse besitzen, erscheint es gleichwohl schon hier unerlässlich, wenigstens auf den relativen Antheil hinzuweisen, den beide Factoren, die primären wie die secundären, an der endgültigen Bildung der Vorstellungen nehmen.

Für die binocularen Tiefenvorstellungen ist diese Aufgabe in den obigen Erörterungen bereits erledigt, indem sich hier zwei primäre Factoren der Tiefenvorstellungen unbestreitbar ergaben: als successiver die Convergenzbewegung, die in jedem Moment durch die an sie gebundenen Empfindungen in Verbindung mit den eintretenden Bildbewegungen die Richtung und die Größe der binocularen Orientirungslinie und damit also die beiden in die Tiefenvorstellung als solche eingehenden Elemente bestimmt. Dazu kommt als simultaner Factor die binoculare Parallaxe, d. h. jene den zusammengehörigen Deckpunkten im Sehfeld entsprechende Winkelverschiebung, die durch die wechselnden Tiefendistanzen der Punkte gegeben, und die im simultanen Bilde der successiv eintretenden Aenderung des Convergenzwinkels äquivalent ist (S. 597). Diesen primären Factoren des binocularen steht nun im monocularen Sehen zunächst als successiver die Accommodation gegenüber. Um so vieles die Accommodation ein unvollkommener functionirender Bewegungsapparat als die Convergenz ist, um so weit steht das monoculare hinter dem binocularen Sehen in der Wirksamkeit primärer Factoren der Tiefenvorstellung zurück. Dass gleichwohl die Meinung, die Accommodation

selbst sei nur ein der Convergenz beigeordnetes Hülfsmittel des binocularen Sehens, nicht zutrifft, hat uns die Beobachtung gelehrt (S. 594 ff.). Binocular und monocular verhalten sich nicht wie Beherrschung aller Hülfsmittel der Tiefe und völliger Mangel derselben, sondern, soweit es sich um die successiven Factoren handelt, wie das Ganze zum Theil, allerdings zum kleineren Theil. Der fein abgestuften Convergenzbewegung steht hier die nur in beschränkterem Umfang, in langsamerem Tempo wirksame und mit einer viel geringeren Unterschiedsempfindlichkeit versehene Accommodationsbewegung gegenüber. Immerhin nimmt dadurch schon das einzelne Auge in gewissem Grade an der in vollkommenerer Form dem Doppelauge zustehenden Function der Tiefenwahrnehmung theil, was besonders für diejenigen Thiere, die des gemeinsamen Gesichtsfeldes entbehren, sowie für diejenigen mit gemeinsamem Gesichtsfeld hinsichtlich der nicht gemeinsamen Gebiete des Sehraums von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist.

Es erhebt sich aber weiterhin die Frage, ob nicht, analog wie der binocularen Convergenz monocular der Accommodationsmechanismus als successiver, so auch der binocularen Parallaxe im monocularen Sehen ein analoger, simultaner Factor der Tiefenvorstellung gegenüberstehe. Diese Frage ist natürlich zunächst an die andere gebunden, ob es überhaupt eine simultane monoculare Tiefenwahrnehmung gibt, die als primäre angesprochen werden kann. Erscheinungen, die eine solche direct beweisen, sind uns nun in der That oben in den Phänomenen der monocularen Spiegelung mit ihrem Uebergang in Glanz entgegengetreten. Bei Versuchen, wie sie die Fig. 297 veranschaulicht, hat man den unmittelbaren und simultanen, nicht etwa erst durch successive Accommodation vermittelten Eindruck hinter einander, in verschiedener Tiefendistanz gelegener Objecte. Nun wurde schon hervorgehoben, dass diese Beziehung auf ungleiche Entfernungen hier mit den Bedingungen der Accommodation zusammenhängen müsse, indem eben nur die die Einstellung des Auges auf ein Object begleitende Wahrnehmung von Punkten, die in Zerstreuungskreisen gesehen werden, eine solche Beziehung der in gleichen Richtungen dem Auge zukommenden Eindrücke auf Objecte verschiedener Entfernung ermöglicht (S. 626). Hierbei kommt demnach die oben (S. 515) bemerkte Thatsache zur Geltung, dass Punkte, die in einer und derselben Visirlinie in verschiedener Tiefendistanz vom Auge liegen, trotzdem gleichzeitig gesehen werden können, weil, wenn das Auge auf einen bestimmten Punkt accommodirt ist, ein näherer oder fernerer das deutliche Bild jenes Punktes als Zerstreuungskreis umgibt, — eine Thatsache, auf der ja die Möglichkeit zu visiren und demnach die Projection der Objecte in der Richtung der Visirlinien beruht. Spiegelung

und Glanz sind also Erscheinungen, die nur dadurch möglich sind, dass diese Unterscheidung von Punkten, die in verschiedener Tiefe auf den gleichen Visirlinien liegen, thatsächlich stattfindet und mit dem Effect einer, wenn auch unbestimmteren, wirklichen Tiefenlocalisation der Punkte verbunden ist. A. KIRSCHMANN hat darauf hingewiesen, dass diese monoculare Tiefenlocalisation vermöge der Eigenschaften der Zerstreuungskreise voraussichtlich im indirecten Sehen vollkommener stattfinden wird als im directen, indem sie um so mehr, je weiter die Eindrücke vom Netzhautcentrum abrücken, durch die eintretende Asymmetrie der Zerstreuungskreise unterstützt wird[1]. Befindet sich nämlich in der Hauptvisirlinie eine Reihe von Punkten in verschiedener Tiefenentfernung, auf deren einen das Auge accommodirt ist, so fallen die Mittelpunkte der Zerstreuungskreise der andern mit dem scharf gesehenen Punkte zusammen, und es nimmt nur mit wachsender Tiefenentfernung von diesem Punkt der Durchmesser der Zerstreuungskreise zu, ohne dass sonst ein Kriterium dafür gegeben wäre, ob diese von einem näheren oder von einem entfernteren Punkt als dem Accommodationspunkt herrühren. Dies wird jedoch anders, wenn die Punkte in das seitliche Sehfeld rücken (Fig. 307). Da jeder Zerstreuungskreis eine Projection der Pupille $p\,p'$ auf die Netzhaut ist, so wird jetzt, wenn das Auge auf a accommodirt ist, der von dem näheren Punkt b herrührende Kreis nach innen und der von dem

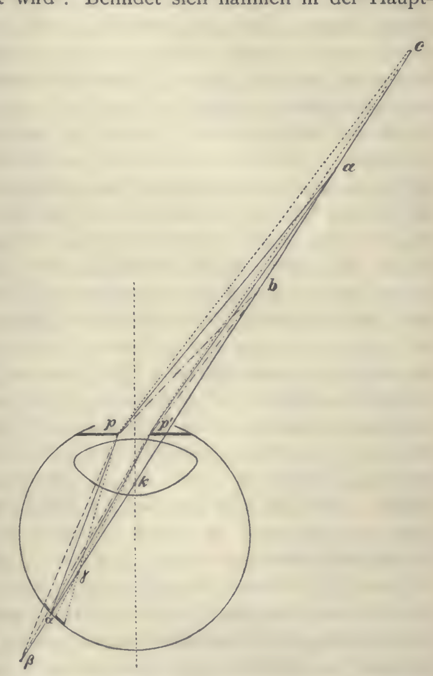


Fig. 307. Zerstreuungskreise im indirecten Sehen.

[1] KIRSCHMANN, Philos. Stud. Bd. 9, 1894, S. 447 ff.

ferneren Punkt *c* herrührende, dessen Bild vor die Netzhaut fällt, nach außen vom accommodirten Punkte entworfen. Eine Visirlinie, welche gleichzeitig die Punkte *a*, *b* und *c* in ihren Netzhautbildern zur Deckung bringt, gibt es daher jetzt nicht mehr, sondern, um successiv zuerst die Punkte *a* und *b* und dann die Punkte *b* und *c* so zur Deckung zu bringen, dass deutlich gesehener Punkt und Mittelpunkt des Zerstreuungskreises sich decken, muss das Auge eine Bewegung ausführen, die der Winkeldistanz der beiden Zerstreuungskreise auf der Netzhaut entspricht. Diesen Winkel kann man, da er nur im indirecten Sehen zur Geltung kommt, die Parallaxe der Visirlinien im indirecten Sehen nennen. Da er zu der Accommodation in einer analogen Beziehung steht wie die binoculare Parallaxe zur Convergenz, und außerdem ein anderes bei den Erscheinungen der Spiegelung und des Glanzes wirksames Moment nicht aufzufinden ist, so ist nun wahrscheinlich diese Parallaxe der Accommodation als ein primärer Factor bei den genannten Formen der monocularen Tiefenwahrnehmung anzusehen. Allerdings beträgt der parallaktische Winkel in diesem Fall nach den approximativen Berechnungen von HELMHOLTZ bei einer seitlichen Lage von 20° nur etwa 90 Sec., bei einer solchen von 45° 135 Sec.[1]; und diese Werthe sind in Anbetracht der geringen Sehschärfe im indirecten Sehen sehr klein, da sie durchweg unter den nach den gewöhnlichen Methoden bestimmten Schwellenwerthen liegen. Gleichwohl ist dadurch nicht ausgeschlossen, dass ein solches Nebeneinander deutlich gesehener und gegen einander verschobener Zerstreuungskreise, namentlich wenn es sich über einen größeren Theil des Sehfeldes ausbreitet, bestimmte Wirkungen ausübt, die zwar keine deutlichen Raumvorstellungen, wohl aber jene eigenthümlichen Modificationen des Eindrucks und jene unbestimmteren Entfernungsvorstellungen hervorbringen können, wie sie eben bei den Erscheinungen des Glanzes und der Spiegelung thatsächlich bestehen. Auch hat man bei diesen Erscheinungen, mögen sie nun monocular oder binocular zu stande kommen, unmittelbar den Eindruck von Accommodationsphänomenen; und die oft außer allem Verhältniss zur Intensität des Reizes stehende blendende Wirkung, die der Glanz ausübt, scheint von den gehäuften Zerstreuungskreisen herzurühren, die zu vergeblichen Accommodationsanstrengungen anregen. Hierbei kommt besonders zur Geltung, dass, wie früher (S. 596) bemerkt, jeder Zerstreuungskreis ein Reiz für den Accommodationsapparat ist, der erst durch die Einstellung des Auges auf den undeutlich gesehenen Punkt verschwindet. Im vorliegenden Fall bleibt nun diese reflectorische Reaction in ihrem Gesammteffect wirkungslos, weil für die diffusen Eindrücke, die

---

[1] HELMHOLTZ, Physiologische Optik[1], S. 586, [2] S. 730.

dadurch etwa in deutliche umgewandelt werden, zahlreiche andere die entgegengesetzte Wandlung erfahren müssen.

So weit aber auch in der Ausbildung der primären Factoren der Tiefenvorstellungen das binoculare dem monocularen Sehen überlegen st, so völlig übereinstimmend, ja, gerade wegen des relativen Zurücktretens primärer Motive, in gewissem Betracht überlegen ist das monoculare dem binocularen in der Wirksamkeit der secundären, associativen Factoren. Dies zeigt sich namentlich bei denjenigen Erscheinungen, die unsere Auffassung verschiedener Tiefenentfernungen in Zeichnungen und Gemälden, sowie in den Objecten der Natur, denen jene nachgebildet sind, bestimmen, insoweit nicht bei den Naturobjecten zugleich primäre Factoren betheiligt sind. Man pflegt alle diese überwiegend secundären Momente, auf die sich Zeichnung und Gemälde ausschließlich angewiesen sehen, unter dem Namen der zeichnerischen und der malerischen Perspective zusammenzufassen, wobei die letztere wieder insofern der umfassendere Begriff ist, als das Gemälde alle Hülfsmittel verwendet, deren sich auch die Zeichnung bedient, außerdem aber weitere hinzubringt, die an die Färbung als solche gebunden sind. Die sämmtlichen Momente der Perspective lassen sich nun in drei, unter einander wieder durch mannigfache associative Beziehungen verbundene Gruppen ordnen: 1) in den Verlauf der die Auffassung der Gegenstände bestimmenden Fixationslinien, 2) in die Wirkung der Größe des Netzhautbildes (des Gesichtswinkels), und endlich 3) in die an die Schärfe der Conturen, die Helligkeits- und Farbenunterschiede gebundenen Motive der sogenannten »Luftperspective«. Für alle diese Bestandtheile der Perspective ist, im Unterschied von dem stereoskopischen Sehen, das auf dem Zusammenwirken zweier Augenpunkte beruht, die Beziehung auf einen einzigen Augenpunkt charakteristisch, mag dieser, wie im rein monocularen Sehen, der Blickpunkt oder, wie im binocularen, der gemeinsame Orientirungspunkt sein (Fig. 284, S. 602). Im ersten Fall ist es dann die Blicklinie, im zweiten die binoculare Orientirungslinie, welche die Beziehungen der gesehenen Punkte zum Sehenden bestimmt.

Als das erste und hauptsächlichste dieser Momente der Perspective besitzt vor allem der Verlauf der Fixirlinien, die die Gegenstände begrenzen und die einzelnen mit einander verbinden, und die in den Conturen einer Zeichnung oder eines Gemäldes vorgezeichnet sind, einen entscheidenden Einfluss. Dieser Verlauf der Fixirlinien wird wieder zunächst und in allgemeingültiger Weise bei der umfassenderen Betrachtung der Umgebung des Sehenden durch jene normale Gestalt des Sehfeldes bestimmt (Fig. 290, S. 612), die sich auf Grund der Beziehungen der Eindrücke zu den Blickbewegungen des einzelnen wie des Doppelauges

ausgebildet hat. Die Entfernung, die der Sehende irgend einem Object von seinem eigenen Augenpunkte anweist, bemisst sich daher nach dem scheinbaren Ansteigen der ebenen Bodenfläche, das für beliebige unregelmäßigere Anordnungen der Objecte im Sehraum immer die Grundlage abgibt. Bei nach aufwärts gewandtem Blick tritt dann ebenso der scheinbare Abfall der Fixirpunkte gegen den Horizont als bestimmendes Element dafür ein. Wo uns die Fußpunkte der Objecte verdeckt bleiben, wird daher die Vorstellung über ihre relative und noch mehr über ihre absolute Entfernung sehr unbestimmt. So erscheinen uns Bergreihen, die sich hinter einander aufthürmen, wie in einer Fläche liegend. In dem Maße aber, als das Auge auf der Bodenebene *a c* (Fig. 290) die Distanzen zwischen den Standorten der einzelnen Objecte mit der Blicklinie durchlaufen kann, treten die Tiefenunterschiede derselben deutlich hervor. Ueberzeugende Belege für diesen Einfluss der Blickbewegungen bilden auch hier wieder jene »umkehrbaren perspectivischen Täuschungen« (S. 545), die von den gewöhnlichen perspectivischen Objecten lediglich dadurch abweichen, dass bei ihnen eine mehrdeutige Beziehung bestimmter Ausgangspunkte der Bewegung, z. B. bald die auf die zum Horizont ansteigende Bodenebene, bald auch die auf eine zu ihm abfallende Deckenebene, bestimmend ist. Ein charakteristisches Beispiel hierfür und zugleich ein deutlicher Beleg für die überwiegende Neigung der Orientirung nach den Fixirlinien auf der Bodenebene oder in zu ihr parallelen Richtungen ist eine der bekanntesten Inversionstäuschungen, die SCHROEDER'sche Treppe (Fig. 308). Bei unbefangener Betrachtung sieht man diese Figur in der Regel als Treppe, indem die Fläche *a* vor die Fläche *b* verlegt wird. Die Figur kann aber auch als ein überhängendes Mauerstück von umgekehrter Treppenform gesehen werden, wo nun *a* hinter *b* zu liegen scheint[1]. Dieses Schwanken ist dadurch verursacht, dass wir eine Grenzlinie wie $\alpha\,\beta$ bald auf das scheinbare Ansteigen der Bodenebene, bald auf den scheinbaren Abfall der Deckenebene beziehen können, und der Wechsel dieser beiden Vorstellungen wird wieder, wie bei allen umkehrbaren Täuschungen, vollkommen eindeutig durch die Richtung der

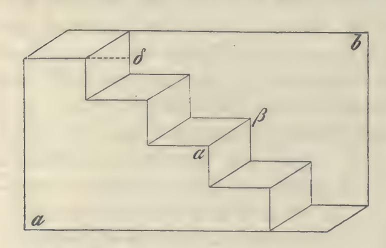


Fig. 308. SCHROEDER'sche Treppe.

[1] H. SCHROEDER, POGGENDORFFS Annalen, Bd. 105, 1858, S. 298.

Blickbewegung bestimmt. Bewegt man nämlich den Blick von α nach β, also in aufsteigender Richtung, so sieht man die Ecke α erhaben, umgekehrt bei der Bewegung von β nach α vertieft: dort entsteht also die Vorstellung der Treppe, hier die des Mauerstücks. Ebenso ist man geneigt α erhaben zu sehen, wenn die Zeichnung dem Auge genähert, vertieft wenn sie von demselben entfernt wird, weil man dabei jedesmal ähnliche Bewegungen wie vorhin ausführt. Wie in diesem Fall, gemäß den für die umkehrbaren Täuschungen überhaupt bestehenden Bedingungen (S. 547), an und für sich schon Associationen mit geläufigen Vorstellungen eine mitwirkende Rolle spielen, so kann nun aber durch weiter hinzutretende associative Elemente die Richtung der Perspective noch bestimmter determinirt werden. Dies geschieht z. B., wenn man eine menschliche Figur zeichnet, welche die Treppe hinaufsteigt, oder wenn man, um die Vorstellung des überhängenden Mauerstücks zu begünstigen, den unteren Theil der Treppe hinweglässt und oben die Figur mit der punktirt angedeuteten Linie bei δ abschließt. Das nämliche kann durch die verschiedene Vertheilung von Licht und Schatten bewirkt werden, wenn man also entweder die Fläche b auf den einzelnen Treppenstufen oder diese auf der Fläche a ihren Schatten werfen lässt. So ist überhaupt der Schlagschatten der Gegenstände, als ein in relativ constanter Weise wiederkehrender Bestandtheil der Perspective, ein wichtiges Moment für die Auffassung der Lage und Form. Er wirkt aber dadurch, dass die Conturen des Schattens wiederum Fixirlinien abgeben, auf denen sich der Blick bewegt. In der Morgen- und Abendbeleuchtung, in der die Schatten der Bäume und Häuser länger sind, scheinen uns daher die Entfernungen größer als in der Mittagssonne. Ob Gegenstände erhaben oder vertieft sind, unterscheiden wir an den Schatten, die ihre Ränder werfen. Eine Hohlform zeigt den Schatten an der dem Licht zugekehrten, eine erhabene an der demselben abgekehrten Seite. Betrachtet man daher z. B. eine erhabene Medaille, von der das Fensterlicht durch einen Schirm abgehalten ist, während sie von der entgegengesetzten Seite her durch einen Spiegel beleuchtet wird, so erscheint das Relief verkehrt[1]. Nicht bloß der Schatten an sich, sondern auch die Verhältnisse der Umgebung, wie die Richtung, in der das Licht einfällt, bestimmen also in diesen Fällen als associative Elemente unsere Vorstellung. Dabei vollziehen sich auch hier wieder diese Associationen ohne jede Spur von Reflexion: sie gehen unmittelbar, als fertige Producte des Zusammenwirkens von Blickbewegung und Associationsmechanismus, in die entstehende Tiefenvorstellung ein.

Ein zweites wichtiges Moment der Perspective ist sodann der Gesichts-

[1] OPPEL, POGGENDORFFS Annalen, Bd. 99, 1856, S. 466.

winkel oder die Bildgröße der Objecte (S. 503). Bei Gegenständen, die uns aus häufigem Sehen in der Nähe geläufig sind, richtet sich, wenn sie sich in größerer Ferne befinden, die Vorstellung der Entfernung in erster Linie nach dem Gesichtswinkel. Unbekannte Gegenstände stellen wir uns dann in Bezug auf ihre Distanzverhältnisse nach den in gleicher Entfernung befindlichen, in ihrer gewöhnlichen Größe geläufigen vor, wie Menschen, Bäume, Häuser. Wo wir dagegen Objecte, die wir unter gleichem Gesichtswinkel sehen, vermöge anderer Associationsbedingungen in verschiedene Entfernungen verlegen, da erscheint uns nun der fernere Gegenstand größer, da er ja, wenn er sich in größerer Entfernung befände, größer sein müsste, um unter gleichem Gesichtswinkel gesehen zu werden. Auch hier haben wir eine parallele Erscheinung bei den geometrisch-optischen Täuschungen bereits kennen gelernt, wo sich die variabeln Strecken- und Winkeltäuschungen durchaus mit den entsprechenden Entfernungsvorstellungen verbanden (S. 549 ff.). In der Regel leitet man aus dieser Wechselwirkung zwischen Größen- und Entfernungsvorstellung auch die bekannte Erscheinung ab, dass wir Sonne und Mond am Horizont größer als im Zenith sehen. Der Horizont scheint uns nämlich ferner als der Zenith zu sein, wegen der in Fig. 290 (S. 612) dargestellten Form des

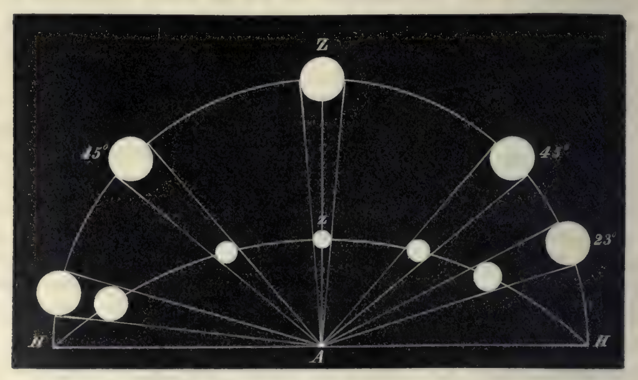


Fig. 309. Das scheinbare Himmelsgewölbe.

Sehfeldes, wozu als mitwirkendes Moment noch hinzukommen mag, dass wegen der zwischenliegenden Objecte die eingetheilte Distanz *a c* größer erscheint als die nicht eingetheilte (vergl. S. 549). Bedeutet also *A* in Fig. 309 den Standpunkt des Beobachters, *HZH* den Halbkreis der Sonnen- oder Mondbahn, *HzH* dagegen einen in der Richtung jener

Bahn gelegten Durchschnitt durch die scheinbare Gestalt des Himmelsgewölbes, so ist die Größe des Gesichtswinkels bei den verschiedenen Stellungen des Gestirns constant; aber indem das gleiche Netzhautbild jedesmal in andre Entfernungen verlegt wird, muss die scheinbare Größe die durch die unteren Kreise angegebenen Veränderungen erfahren[1]. Nebenbei können dann außerdem noch die unten zu erwähnenden Momente der Luftperspective einen mitwirkenden Einfluss ausüben, wofür der Umstand spricht, dass der gewöhnliche Eindruck erheblich gesteigert wird, wenn die Conturen der Gestirne am Horizont durch die die Atmosphäre erfüllenden Nebelbläschen undeutlicher sind. Demnach ist wohl überhaupt diese viel erörterte Erscheinung das Product mehrerer zusammenwirkender Ursachen, und sie ist daher auch mit diesen einigermaßen in ihrer Größe veränderlich. Den entscheidenden und relativ constantesten Einfluss übt auch hier die Blickbewegung aus. Den Beweis hierfür liefert die Thatsache, dass sich die Erscheinung beträchtlich vermindert oder ganz verschwindet, wenn man die Gestirne am Horizont bei stark seitwärts geneigter oder zwischen den Beinen hindurch bei umgekehrter Kopfhaltung betrachtet, und dass hingegen der hochstehende Mond in der Rückenlage gesehen größer erscheint als gewöhnlich. Ebenso wird aber der im Zenith stehende Mond, wenn man sein Bild durch einen Spiegel in die horizontale Sehrichtung bringt, größer, und umgekehrt der am Horizont stehende kleiner gesehen, wenn man ihn auf die gleiche Weise in die verticale Blickrichtung bringt[2]. Bei diesem Einfluss der Blickbewegung vereinigen sich aber wieder höchst wahrscheinlich zwei Momente: ein directes, indem, wie wir oben (S. 563) sahen, die Aufwärtsbewegung des Auges eine größere Energie fordert als die Abwärtsbewegung, und daher mit einer Ueberschätzung der in dieser Richtung durchlaufenen Distanzen verbunden ist. Dazu kommt als secundäres, associatives, dass in der weitaus überwiegenden Zahl der Fälle Distanzen, die sich nach der Tiefe des Raumes erstrecken, von unten nach oben, im Sinne der Richtung der ansteigenden Bodenebene *a c* in Fig. 290, durchlaufen werden. Sehr deutlich kann man diesen Einfluss der Blickrichtung bei den

---

[1] Nach R. Smith (Lehrbegriff der Optik, übers. von Kaestner. 1755, S. 56), der diese Erklärung zuerst gegeben hat, sollen Sterne von etwa 20° Distanz vom Horizont in der Mitte zwischen Horizont und Zenith zu liegen scheinen. Danach ist die Construction in Fig. 309 ausgeführt. Die Erscheinung ändert sich aber, wie W. Zehender mit Recht bemerkt hat, nicht unbeträchtlich mit dem Grad der Bewölkung, indem das Himmelsgewölbe bei tief liegenden Wolken wesentlich flacher erscheint als bei bewölktem Himmel (Zeitschrift für Psychologie, Bd. 20, 1899, S. 353 ff.). Die Behauptung dieses Beobachters, dass der unbewölkte Himmel überhaupt keine Gestalt habe, kann ich freilich nicht bestätigt finden.

[2] Filehne, Pflügers Archiv, Bd. 59, 1895, S. 291. Zoth, ebend. Bd. 78, 1900, S. 363. Bd. 88, 1902, S. 201.

umkehrbaren Täuschungen an einer und derselben Linie beobachten. Wenn man z. B. die Fig. 308 in etwas größerem Maßstabe ausführt, so erhält man jedesmal, wenn die Treppenfigur hervortritt, d. h. wenn die Bickbewegung von α nach β gerichtet ist, den Eindruck einer größeren Tiefe, als wenn bei der von β nach α gerichteten Blickbewegung das Relief sich umkehrt. Uebrigens zeigt es sich, dass auch bei den Gestirnen der Einfluss der Entfernungs- auf die Größenvorstellung unabhängig von irgend welchen Blickbewegungen stattfinden kann, wenn man den Mond durch eine Röhre oder selbst durch ein schwach vergrößerndes Fernrohr betrachtet. Da man hier den Mond beim Mangel aller sonstigen Fixationsmotive fast unmittelbar hinter der Röhre zu sehen glaubt, so erscheint er sehr beträchtlich verkleinert, wie man ihn in der freien Natur niemals sieht.

Wesentlich andere Bedingungen treten dagegen bei der Auffassung solcher Objecte ein, die uns aus häufiger Wahrnehmung in unmittelbarer Nähe geläufig sind. Auch hier übt zwar der Gesichtswinkel immer noch einen gewissen Einfluss aus. Aber dieser wird nun nahezu vollständig durch jene associativen Wirkungen compensirt, die von geläufigen Vorstellungen ausgehen, und die eventuell noch durch die durch Accommodations- und Convergenzeinstellungen erzeugten bestimmteren Entfernungsvorstellungen unterstützt werden. Von zwei Gegenständen erscheint uns daher in diesem Fall der fernere dem näheren nicht dann an Größe gleich, wenn ihre Netzhautbilder gleich sind, sondern dann, wenn die Gegenstände selbst nahezu gleich groß sind. Der Einfluss des Netzhautbildes macht sich in der Regel nur noch in Gestalt eines Schätzungsfehlers geltend, der für jeden Entfernungsunterschied annähernd constant ist und sich als eine kleine Abweichung der Vorstellung von der wirklichen Größe im Sinne des Netzhautbildes geltend macht[1]. Bei etwas

[1] GÖTZ MARTIUS (Philos. Stud. Bd. 5, 1889, S. 601 ff.) wies diesen relativ geringen Einfluss des Gesichtswinkels auf die Größenvorstellung näherer Objecte nach, indem er prismatische Holzstäbe von gleicher Form, aber abweichender Größe und Entfernung vom Beobachter in Bezug auf ihre scheinbare Größe vergleichen ließ. Der eine der in einem Versuch zu vergleichenden Stäbe diente als Normalmaß: er befand sich stets in 50 cm Entfernung; der andere, der in einer Versuchsreihe 2,5, in einer anderen 5,25 m entfernt war, diente als Vergleichsgröße: er konnte in Stufen von 0,5 cm verändert werden. Es fanden sich so bei den zwei genannten Entfernungen zu den 3 Normalgrößen 20, 50 und 100 cm die folgenden Vergleichsgrößen bei zwei Beobachtern (M. M. und G. M.):

	I. 5,25 m			II. 2,50 m		
	20	50	100	20	50	100
M. M.	21,67	57,62	106,62	20,62	53,87	107,75
G. M.	21,92	59	110	21,62	56,62	109,25

entfernteren Gegenständen, bei denen Accommodation und Convergenz keine bestimmten Entfernungsvorstellungen mehr vermitteln können, pflegen bei bekannten Objecten oder bei solchen, die bekannteren Dingen irgendwie analog sind, Associationen mit diesen zunächst für die Größen- und dadurch indirect auch für die Entfernungsvorstellung maßgebend zu werden. So sehen wir einen Menschen auf einem Thurm nicht in dem Grade kleiner im Vergleich mit einem in unserer Nähe befindlichen, als es dem sehr viel kleineren Gesichtswinkel entsprechen würde. Das Zifferblatt einer Thurmuhr stellen wir uns etwa in der Größe des Zifferblatts einer nahen Zimmeruhr, den Thurmknopf wie den Knopf einer Fahnenstange vor; entfernten Berghöhen geben wir die Höhe benachbarter Hügel. Solche durch Associationen vermittelte Größenvorstellungen bewirken dann aber immer zugleich, dass wir uns auch die Gegenstände näher vorstellen, als sie eigentlich sind[1].

Bei den fernsten Objecten, den Gebirgen und Wolken, die den Horizont umsäumen, können nun freilich die Elemente der gewöhnlichen Perspective nicht mehr wirksam werden: sie erscheinen alle wie auf einer einzigen Ebene ausgebreitet. Hier tritt dann die sogenannte Luftperspective wenigstens bei größeren Distanzunterschieden ergänzend ein. Durch die Erfüllung der Luft, namentlich ihrer niedrigeren Schichten, mit Nebelbläschen werden die Gegenstände mit wachsender Entfernung undeutlicher; zugleich nehmen sie bei geringer Lichtstärke eine blaue, bei größerer eine rothe Färbung an. Die Berge am Horizont erscheinen also bläulich, die unter- oder aufgehende Sonne und die von ihr beleuchteten Berggipfel purpurroth gefärbt[2]. Wie die gewöhnliche Perspective in Folge des Einflusses der Schlagschatten mit der Tageszeit, so wechselt jedoch die Luftperspective außerordentlich mit der Witterung. Wenn die Luft klar oder trocken oder, statt mit Wassernebeln, mit Wasserdämpfen erfüllt ist, so erscheint uns der Horizont bedeutend genähert. Umgekehrt rücken bei dichtem Nebel nähere Gegenstände scheinbar in größere Ferne, und sie erscheinen uns dann, da doch ihr Gesichtswinkel unverändert geblieben ist, zugleich vergrößert. Bäume, Menschen sehen wir z. B. durch eine Nebelschicht zu riesigen Dimensionen angewachsen. Die ausschließliche Wirkung associativer Elemente bei diesen Wechselbeziehungen der Größen- und Entfernungsvorstellungen ist augenfällig. Auch wird sie in diesem Fall dadurch bezeugt, dass bei Kindern in einem früheren Lebensalter gerade die Einflüsse der Luftperspective wie auch die des Gesichtswinkels, sofern nicht Fixirlinien hinzukommen, noch sehr zurücktreten; daher sie häufig Entfernungen unterschätzen, und ihnen in Folge dessen ferne

[1] WUNDT, Vorlesungen über die Menschen- und Thierseele[3], S. 191 ff.

[2] BRÜCKE, POGGENDORFFS Annalen, Bd. 88, 1852, S. 363.

Gegenstände sehr klein erscheinen, ein Mensch z. B. als Zwerg, ein ferner See als eine Regenpfütze u. dergl. Gleichwohl würde es auch in diesem Fall unzutreffend sein, von Erfahrung im gewöhnlichen Sinne des Wortes oder von intellectuellen Ueberlegungen, Vergleichungen u. dergl. zu reden. Vielmehr bilden sich die Associationen ohne jede Reflexion in Folge der wiederholten Einwirkung bestimmter Sinneseindrücke mit derselben Nothwendigkeit und mechanischen Sicherheit wie die einfachsten räumlichen Wahrnehmungen, und die Producte dieser Associationen stehen mit derselben unmittelbaren Anschaulichkeit vor uns, wie irgend welche directe Sinnesempfindungen und ihre Verbindungen.

Indem in den neueren Untersuchungen über die Entstehung der Tiefenvorstellungen die an die Erfindung des Stereoskops sich anschließenden Arbeiten über die Bedeutung des binocularen Sehens in den Vordergrund des Interesses rückten, hat man den entsprechenden Factoren des monocularen Sehens wohl allzu wenig Beachtung geschenkt, um so mehr da unter den gewöhnlichen Verhältnissen der Einfluss dieser Factoren in der That gänzlich verschwinden kann. So ist es gekommen, dass man durchweg primäre Factoren der Tiefenvorstellung für das monoculare Sehen überhaupt leugnet oder höchstens in der Accommodation einen solchen für die Vergleichung successiver Eindrücke annimmt. Ich glaube jedoch, dass die Erscheinungen der Spiegelung und des Glanzes, die nach ihrer ganzen Erscheinungsweise den Charakter directer, nicht erst durch irgend welche associative Einflüsse vermittelter Wahrnehmungen an sich tragen, zwingend auf primäre, und zwar simultane Factoren auch des monocularen Sehens hinweisen. Zugleich dürften aber in diesen Erscheinungen schon nach den ihnen unmittelbar eigenen Merkmalen deutliche Accommodationswirkungen zu erkennen sein. Ob es dabei, wie oben zunächst angenommen wurde, die Accommodation allein ist, oder ob, wie Kirschmann vermuthet, außerdem Motive der Blickbewegung eine mitwirkende Rolle spielen, mag hier zunächst dahingestellt bleiben[1]. Sicher aber sind die Erscheinungen der Spiegelung und des Glanzes Folgen des Zusammenwirkens von deutlich und von in Zerstreuungskreisen gesehenen Punkten. Wenn Helmholtz die hier in Anspruch zu nehmende Parallaxe des indirecten Sehens als eine wegen der geringen Sehschärfe der Seitentheile zu vernachlässigende Größe betrachtete, so ist zu erwägen, dass es sich dabei für ihn um die Frage der Deutlichkeit der Bilder überhaupt, nicht um eine Erklärung der Erscheinungen von Spiegelung und Glanz handelte. Kirschmann hat als ein möglicher Weise bezeichnendes Moment für die Bedeutung der Parallaxe des indirecten Sehens besonders auch noch auf die spaltförmigen Pupillen des Katzenauges hingewiesen, durch welche die Lageunterschiede der Zerstreuungskreise in der zu dem Spalt senkrechten, also

[1] In Versuchen von R. Müller, der beim Verschluss eines Auges eine vor oder hinter dem Fixirpunkt fallende Kugel im indirecten Sehen localisiren ließ, ergab sich diese Localisation als höchst unsicher, und offenbar war bei ihr die Gewöhnung an die normale deutliche Sehweite hauptsächlich von Einfluss. Für die Frage nach der Bedeutung der Parallaxe des indirecten Sehens sind aber diese Versuche wegen der gänzlich abweichenden Bedingungen ohne Bedeutung. (R. Müller, Philos. Stud. Bd. 14, 1898, S. 402 ff.)

horizontalen Richtung begünstigt werden müssen, was vermuthlich mit der Gewohnheit des Thieres, seinen Feinden und seiner Beute mit auf den Fußboden gelagertem Kopfe aufzulauern, zusammenhänge[1].

Abgesehen von der monocularen Erzeugung von Spiegelung und Glanz gibt es übrigens noch manche andere Erscheinungen, die auf primäre Factoren der Tiefenvorstellung im monocularen Sehen hinweisen. So hat EINTHOVEN bemerkt, dass die Zerstreuungskreise, die durch die sphärische und chromatische Aberration des Auges entstehen, zugleich mit Tiefenvorstellungen verbunden sind[2]. Sehr deutlich kann man ferner auch Tiefenerscheinungen am Spektrum wahrnehmen. Schon bei dem gewöhnlichen, durch einen vor dem Prisma angebrachten verticalen Spalt bewirkten Dispersionsspektrum bemerkt man, dass die helleren Theile, das Roth und namentlich das Gelb, näher, die dunkleren, Blau, Violett, ferner zu sein scheinen. Die Tiefenwirkung wird aber bedeutend erhöht, wenn man statt eines geradlinigen einen irgendwie gebogenen Spalt anwendet, wo sich nun durch die wechselnde Lage der Theile des Spektrums die Wirkungen wiederholen und dadurch steigern. Ich finde die Erscheinung am schönsten bei einem S-förmigen Spalt. Dabei sind offenbar zwei Momente von Einfluss: einerseits das primäre, dass sich unser Auge nicht auf alle Strahlen gleichzeitig einstellen kann und in der Regel die helleren in der Accommodation bevorzugt, und anderseits das associative, dass dunklere und undeutlichere Objecte ferner erscheinen. Das Phänomen ist also einerseits mit den Erscheinungen von Spiegelung und Glanz, anderseits mit denen der Luftperspective verwandt[3].

6. Theorie der räumlichen Gesichtsvorstellungen.

a. Die nativistische Theorie.

Die Anschauung, dass mit dem Sinneseindruck unmittelbar auch die Art und Weise gegeben sei, wie wir ihn auf äußere Gegenstände beziehen und ihn räumlich und zeitlich zu andern Eindrücken ordnen, — diese Anschauung, die oben (S. 489) als die nativistische bezeichnet

---

[1] KIRSCHMANN, a. a. O. S. 485 ff. Hinsichtlich der Beziehung der verschiedenen Factoren zu der Tiefenwahrnehmung verspricht überhaupt die vergleichende Psychologie noch manche Aufschlüsse. Vgl. die bemerkenswerthen Ausführungen von R. BERLIN, Ueber die Schätzung der Entfernungen bei Thieren. Zeitschrift für vergleich. Augenheilkunde, Bd. 7, 1891, S. 1 ff. Es sei hier nur hingewiesen auf die schon oben (S. 599) berührten Leistungen des Accommodationsapparates der Vögel, womit wohl zugleich die große Sehschärfe auch der Seitentheile des Vogelauges zusammenhängt; ferner auf das zur Abschätzung von Tiefendistanzen besonders befähigte Sehorgan des Pferdes mit einer Basaldistanz des Doppelauges, welche die des Menschen etwa um das dreifache übertrifft.

[2] EINTHOVEN, PFLÜGERS Archiv, Bd. 71, 1898, S. 1 ff. Wenn EINTHOVEN auch die geometrisch-optischen Täuschungen (die MÜLLER-LYER'schen, ZÖLLNER'schen, POGGENDORFF'schen Figuren) hieraus abzuleiten sucht, so scheitert freilich diese Erklärung daran, dass, wie oben (S. 548 ff.) ausgeführt, in diesen Fällen die perspectivischen Erscheinungen nicht Ursachen, sondern Wirkungen der Täuschungen sind.

[3] Aehnliche bei der binocularen Vereinigung verschiedenfarbiger Streifen hervortretende Erscheinungen beschreibt KIRSCHMANN, Philos. Stud. Bd. 18, 1901, S. 123 ff. und Taf. VI.

wurde, kann sich bei dem Gesichtssinn anscheinend mehr als bei irgend einem andern Sinnesgebiet auf die unmittelbare Beschaffenheit der Sinnesorgane selbst und ihrer Wirkungen berufen. Darin, dass das Netzhautbild, abgesehen von seiner Umkehrung, seinem Gegenstand vollständig gleiche, sah man in der That von dem Augenblick an, wo diese optische Eigenschaft des Auges entdeckt war, ein sinnenfälliges Zeugniss dafür, dass das Object so zu sagen unmittelbar mit seinen räumlichen Eigenschaften mittelst der Lichtstrahlen in den Sehenden hinüberwandere, um dann von ihm wieder in den äußeren Raum mit denselben Eigenschaften projicirt zu werden, die ihm dort objectiv zukommen. Nachdem die Lehre der alten Naturphilosophen von den sich ablösenden Bildchen, soweit sie die qualitativen Eigenschaften der Empfindungen betraf, durch die physikalischen Lichttheorien längst beseitigt war, blieb man daher in der Interpretation der räumlichen Eigenschaften des Sehprocesses im wesentlichen bei ihr stehen. Höchstens zerbrach man sich darüber den Kopf, wie trotz der umgekehrten Lage des Netzhautbildes das aufrechte Object aufrecht gesehen werden könne, war aber meist bereit, dies Problem auf dem einfachen Wege zu lösen, dass man jener ursprünglichen Verlegung des Bildes in den äußeren Raum die umgekehrte Richtung zu der anwies, die der Lichtstrahl selbst bei der Entwerfung des Bildes genommen. Eine weitere Bestätigung dieser naiven nativistischen Anschauungen erblickte man später in der Existenz des »Chiasma« der Sehnerven, indem man dasselbe ohne weiteres als eine Einrichtung ansah, welche den auf ein und dasselbe Object bezogenen Bildtheilen eine einheitliche Repräsentation im Gehirn sichere, so dass sich das in den beiden Augen entstandene Doppelbild wieder zu einem einzigen Bilde vereinige[1]. Ihren classischen Ausdruck fand diese Auffassung in JOHANNES MÜLLERS »vergleichender Physiologie des Gesichtssinnes«[2]. Die beiden Sätze: »die Netzhaut empfindet sich selbst räumlich ausgedehnt und verlegt jeden Reiz im Sinne der Richtungsstrahlen in den äußeren Sehraum«, und: »identische Punkte beider Netzhäute werden im Sensorium durch einen einzigen Punkt repräsentirt«, — diese Sätze bezeichnen deutlich die subjective Umdeutung und Ergänzung, welche nunmehr die alte Lehre von der unmittelbaren Wirkung der von den Objecten losgelösten Bilder auf das Auge erfahren hatte. Die Bewegungen des Auges erscheinen so schon bei MÜLLER, und nach seinem Vorbild auch noch in den späteren Theorien, gegenüber dem Netzhautbild durchaus nur als secundäre Hülfsmittel: sie ermöglichen es, successiv verschiedene Theile des äußeren Raumes durch

---

[1] Ueber die Verhältnisse der Sehnervenkreuzung vgl. Bd. 1, S. 229 ff.
[2] J. MÜLLER, Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes. 1826.

den Wechsel der Fixationspunkte aufzufassen; auch sichert die Synergie der binocularen Bewegungen gegen die Entstehung allzu störender Doppelbilder, im übrigen aber liegt das Wesen der räumlichen Vorstellung ganz und gar in der räumlichen Beschaffenheit des Netzhautbildes eingeschlossen. Dies ist die Stellung, die im großen und ganzen die nativistische Hypothese bis zum heutigen Tage einnimmt. In der Vertretung derselben machen sich aber zwei Richtungen geltend: eine allgemeinere, die sich die Behandlung der Probleme des Sehens im einzelnen erlässt, um lediglich auf Grund irgend welcher erkenntnisstheoretischer Ueberlegungen oder auch bloß dem »principium simplicitatis« zu Liebe dem Nativismus zuzustimmen. Ihr ist die nativistische Lehre entweder dadurch gesichert, dass sie mit der KANT'schen Apriorität des Raumes übereinstimme, oder, auf einem etwas skeptischeren Standpunkt, dadurch, dass die logische Deduction einer räumlichen Ordnung der Empfindungen aus irgend welchen unräumlichen Qualitäten unmöglich sei[1]. Die zweite Gestaltung der nativistischen Theorie unterscheidet sich dadurch zu ihrem Vortheil von dieser ersten, dass sie derjenigen Aufgabe nachzukommen sucht, die jede Theorie, wenn sie überhaupt auf diesen Namen Anspruch erheben will, lösen muss: der Aufgabe nämlich, die einzelnen Erscheinungen aus den gemachten Voraussetzungen abzuleiten. Indem die erste Form des Nativismus dies nicht thut, hat sie mehr den Werth eines Glaubensbekenntnisses als den einer wissenschaftlichen Theorie. Ihr gegenüber sei darum nur hervorgehoben, dass sie, mag sie im übrigen metaphysisch, empirisch oder skeptisch sein, den entgegengesetzten Theorien eine Absicht zuschreibt, die diese im allgemeinen wohl nur selten gehegt haben: die Absicht nämlich, den Raum aus irgend etwas, das noch nicht Raum ist, mit logisch zwingender Evidenz ableiten zu wollen. Dass diese Tendenz bei irgend jemandem bestehe, der die Aufgaben der psychologischen Interpretation in dem Sinne auffasst, in dem sie heute allein verstanden werden sollten, nämlich in dem einer zusammenhängenden Nachweisung der thatsächlich stattfindenden psychischen Entwicklungen und ihrer Bedingungen, wird man schwerlich annehmen können. Der Irrthum dieser Classe von Nativisten besteht daher darin, dass sie ihren eigenen Standpunkt, der im allgemeinen nicht derjenige der psychologischen Analyse, sondern der logischen Reflexion ist, auch auf die von ihnen beurtheilten Anschauungen übertragen und so bei diesen das was psychologische Interpretation ist und nichts anderes sein soll, mit logischer Deduction

---

[1] Als Beispiele einer Ausführung der nativistischen Theorie in diesem mehr negativen Sinne seien genannt: W. JAMES, Principles of Psychology, vol. 2, 1890, p. 222 ff. EBBINGHAUS, Grundzüge der Psychologie. Bd. 1, 1902, S. 442 ff. Einen Nativismus auf KANT'scher Grundlage vertreten z. B. A. CLASSEN, Physiologie des Gesichtssinns. 1889. J. STILLING, Psychol. der Gesichtsvorstellung nach KANTS Theorie der Erfahrung. 1901.

verwechseln. Nun ist, wie der bisherige Gang unserer Betrachtungen mehrfach gezeigt hat, der Versuch, irgend ein zusammengesetztes psychisches Erlebniss aus den Elementen, die in dasselbe eingehen, logisch deduciren zu wollen, überhaupt ein unmögliches, die Natur des psychischen Geschehens und in Folge dessen auch den Sinn psychologischer Erklärung missverstehendes Unternehmen. Man kann den Raum und die Zeit aus den elementaren Empfindungen, die in sie eingehen, unmöglich so deduciren, dass sie demjenigen deutlich werden könnten, der sie nicht selbst erlebt hat, gerade so wenig wie man die Wirkung eines Accords aus der Summe seiner einzelnen Töne deduciren kann. Die einzige wirkliche Aufgabe ist hier wie überall auf psychologischem Gebiet lediglich die, dass man die Bedingungen nachweist, unter denen die zusammengesetzten psychischen Vorgänge zu stande kommen, und die Beziehungen, die zwischen den Elementen derselben und ihren complexen Resultanten bestehen, um dann auf Grund dieser Beziehungen das Wesen der psychischen Entwicklungen selbst erkennen zu lernen.

Unter diesen Aufgaben findet nun die erste und unerlässlichste, die einer Interpretation der einzelnen Erscheinungen, nur bei der zweiten der erwähnten Formen nativistischer Hypothesen die erforderliche Berücksichtigung, da man sich hier nicht mit der Aufstellung allgemeiner Behauptungen begnügt, sondern bestimmte, klar formulirte psychologische Voraussetzungen macht, auf Grund deren, nöthigenfalls unter Hinzunahme physiologischer oder psychologischer Hülfshypothesen, ein übersichtliches Bild der Gesammtheit der Erscheinungen gegeben wird. In der neueren Physiologie des Gesichtssinnes hat sich diese zweite Form nativistischer Hypothesen in naturgemäßer Weiterbildung der Lehre JOHANNES MÜLLERS entwickelt. Sie hat, nachdem E. BRÜCKE, A. NAGEL, P. L. PANUM u. A. einzelne Vorarbeiten geliefert, schließlich in EWALD HERINGS Theorie ihren Abschluss gefunden. Ihm haben sich durchgängig die dem Nativismus zugethanen Physiologen angeschlossen. Wir können uns darum hier auf die HERING'sche Theorie und bei ihr wieder auf die allgemeinen Voraussetzungen beschränken, von deren Zulässigkeit selbstverständlich auch die Berechtigung der einzelnen Anwendungen abhängt[1].

Die beiden Sätze JOHANNES MÜLLERS von der unmittelbaren Raumempfindung der Netzhaut und von der constanten räumlichen Zuordnung je zweier zusammengehöriger Netzhautpunkte im Doppelauge bilden die Axiome der nativistischen Theorie auch in dieser neuen Form. Allerdings

---

[1] Die Grundlagen der Theorie finden sich schon bei PANUM, Ueber das Sehen mit zwei Augen, 1858, die nähere Ausführung bei HERING, Beiträge zur Physiologie, 1861—64, die definitive Gestaltung in desselben Art. Raumsinn des Auges, in HERMANNS Handbuch der Physiologie, Bd. 3, I, 1879, S. 386 ff.

gilt aber heute nicht mehr die auf die rein anatomische Lagebeziehung gegründete Zuordnung MÜLLERs, sondern es wird der früher (S. 561) erwähnten Abweichung der scheinbaren Verticalen Rechnung getragen. Als räumlich äquivalent werden also nicht die »identischen«, sondern die »correspondirenden« Punkte in dem oben (S. 600) erwähnten Sinne angesehen. Die Fläche, auf der die von correspondirenden Punkten der Längsschnitte aus gezogenen Richtungslinien sich schneiden, soll dann die »Kernfläche des Sehraums« bilden, welche die ursprüngliche und natürliche Ordnung unserer Raumempfindungen enthalte. Was vor ihr liegt wird näher, was hinter ihr liegt wird ferner empfunden, gleichgültig ob es einfach oder, was zumeist erst bei größerem Distanzunterschied eintritt, doppelt gesehen wird. Auch die Tiefe des Raumes ist also unmittelbarer Inhalt der Gesichtsempfindungen, — darin liegt ein wesentlicher Fortschritt über die Lehre MÜLLERs, der die unmittelbare Empfindung der Tiefe nur dem Tastsinn zuschrieb. Zugleich wird damit den seitdem gefundenen Thatsachen des stereoskopischen Sehens Rechnung getragen. Ebenso ist durch die gemeinsame Sehrichtung der Netzhautcentren der Fixirpunkt unmittelbar als der Kernpunkt des Sehraums bestimmt. Diese auf der ursprünglichen Ordnung der Netzhautpunkte beruhenden Raumempfindungen sollen nun aber durch zwei psychologische Momente Veränderungen erfahren: das erste dieser Momente ist die »Erfahrung«, das zweite die »Aufmerksamkeit« oder der »Wille«. Die Erfahrung vermittelt eine genauere Orientirung im Raume, namentlich bei den im allgemeinen sehr unsicheren Tiefenschätzungen; außerdem veranlasst sie überhaupt, gegenwärtige nach früheren Eindrücken zu beurtheilen. Dem gegenüber kommt der »Aufmerksamkeit« eine mehr primäre Bedeutung zu. Sie ist es, die das, was in dem System ursprünglicher Raumempfindungen noch unsicher ist, fest bestimmt: die Lage des Fixirpunktes und damit des ganzen Sehraumes zum Sehenden. Wir besitzen, wie schon MÜLLER gelehrt hatte, eine ursprüngliche Empfindung der räumlichen Ausdehnung unseres eigenen Körpers, und wir besitzen die Fähigkeit, unsere Aufmerksamkeit beliebig in dem umgebenden Raume wandern zu lassen. Einer solchen Wanderung der Aufmerksamkeit folgt dann die Bewegung des Fixirpunktes, und diese ist wieder von Bildänderungen begleitet, die die Orientirung vollkommener machen. Als beweisend für diese primäre Bedeutung der Aufmerksamkeit werden jene pathologischen Erfahrungen angesehen, nach denen bei Augenmuskellähmungen die Patienten Verschiebungen der absoluten Raumwerthe eintreten sehen, ohne dass doch in Wirklichkeit Blickbewegungen stattfinden. Hieraus folgert man, dass es nicht die Augenstellung sei, welche die Localisation des Fixationspunktes vermittle, sondern die »Aufmerksamkeit«,

die bei dieser fundamentalen Raumfunction als identisch mit dem »Willen« betrachtet wird[1]. »Der bloße Wille rechts zu blicken«, sagt MACH[2], »gibt den Netzhautbildern an bestimmten Netzhautstellen einen größeren Rechtswerth«. Daraus folgt, dass »der Wille Blickbewegungen auszuführen oder die Innervation die Raumempfindung selbst ist«. Wenn man von dieser Theorie rühmt, sie behandle die Gesichtswahrnehmung als ein rein physiologisches Problem, so ist, wie man hieraus sieht, diese Behauptung nicht berechtigt. Die Theorie enthält neben den physiologischen sehr wesentliche psychologische Voraussetzungen. Auch ist sie keineswegs streng nativistisch, denn sie lässt der Erfahrung einen sehr weiten und ziemlich willkürlichen Spielraum. Dies ist nun auch an sich wohl begreiflich. Da eine Sinneswahrnehmung weder ein bloß physischer noch ein rein psychischer, sondern ein aus beiden Factoren gemischter »psycho-physischer« Vorgang ist, so bedarf eben jede Theorie ebensowohl physiologischer wie psychologischer Voraussetzungen. Die Beschaffenheit dieser Voraussetzungen und die Art, wie sie mit einander verbunden sind, bilden daher auch in erster Linie die charakteristischen Eigenschaften einer Theorie. Dem gegenüber spielt die Frage, ob »angeboren« oder nicht, eigentlich eine untergeordnete Rolle. Dies zeigt die obige Skizze der Grundgedanken der »nativistischen Theorie« hinlänglich. Denn das Wesentliche dieser Theorie liegt gar nicht in ihrem sogenannten »Nativismus«, sondern darin, dass sie als die physiologische Grundbedingung der Wahrnehmung die anatomische Anordnung und Zuordnung der Netzhautpunkte betrachtet, während sie psychologisch der individuellen Erfahrung mannigfach modificirende, bald berichtigende bald irreführende Einflüsse zugesteht, zugleich aber den Willen (wir können uns, da die Identität der Aufmerksamkeit mit ihm hervorgehoben wird, auf ihn beschränken) als einen ähnlich primären Raumfactor auffasst wie jene ursprünglichen Structurbedingungen der Netzhaut. Denn man kann doch nicht wohl annehmen, dass die »Kernfläche des Sehraums« oder irgend etwas vor ihr oder hinter ihr jemals gesehen werde, ohne dass jene zugleich irgendwo gesehen wird. Letzteres geschieht aber durch den Willen, daher denn auch »der Wille Blickbewegungen auszuführen die Raumempfindung selbst« ist. Wollten wir die Theorie in nativistische und empiristische Bestandtheile zerlegen, so würden demnach die ersteren wieder in einen physiologischen, die Anordnung und Correspondenz der Netzhautelemente, und in einen psychologischen, das angeborene Willensvermögen, zu unterscheiden sein. Aber

---

[1] HERING, a. a. O. S. 534 ff. Vgl. hierzu die nähere Analyse dieser Localisationstäuschungen oben Cap. X, S. 27 ff.

[2] MACH, Beiträge zur Analyse der Empfindungen[1], S. 57, [2] S. 95.

so klar sich von diesen primären Factoren die Erfahrungseinflüsse auf den ersten Blick als secundäre zu sondern scheinen, so erweist sich doch bei näherem Zusehen auch dieser Unterschied als ein fließender. Bei JOHANNES MÜLLER waren die »identischen« Punkte unmittelbar durch ihre anatomische Lage bestimmt; sie konnten ohne Rücksicht auf eine physiologische Prüfung ihrer Raumfunction aufgefunden werden. Dieser Identitätsbegriff MÜLLERS ist jetzt aufgegeben. Als »correspondirend« gelten nicht mehr Punkte von identischer Lage, sondern solche, die sich bei der physiologischen Functionsprüfung in der Regel als »Deckstellen« erweisen, und diese sind nicht Stellen von identischer Lage. Nun erweckt aber jene Neigung der correspondirenden Längsschnitte der Netzhäute unvermeidlich die Frage nach der Bedeutung dieser Abweichung von der anatomischen Symmetrie; und bei dem engen Zusammenhang zwischen Structur und Function, der uns überall im Organismus begegnet, wird man offenbar dazu gedrängt, jene in functionellen Verhältnissen zu suchen. In der That lässt sich, wie wir oben sahen, die Abweichung der correspondirenden Längsschnitte unmittelbar mit den Gesetzen der Augenbewegungen in Beziehung bringen, die ihrerseits wieder in dem Zusammenhang der Auf- und Abwärtsbewegungen der Blickebene mit der Einstellung auf nahe und ferne Objecte eine naheliegende functionelle Erklärung finden (S. 562). Wie dem aber auch sei, jedenfalls wird man in diesem Verhältniss nicht einen anatomischen Zufall, sondern den Ausdruck irgend eines functionellen Zwangs erblicken dürfen. Ist dies der Fall, so mag man vielleicht annehmen, die Zuordnung der correspondirenden Punkte sei nicht erst während des individuellen Lebens entstanden, sondern innerhalb der generellen Entwicklung mindestens vorbereitet. Immerhin rücken aber dadurch auch die von der nativistischen Theorie als secundäre Momente zugelassenen individuellen Erfahrungseinflüsse in eine andere Beleuchtung. Sie treten jenen ursprünglichen Raumfunctionen nicht als völlig ungleichartige Bedingungen gegenüber, sondern es setzen sich in ihnen eigentlich nur Entwicklungsmotive fort, die dort schon wirksam gewesen sind; und die Wahrscheinlichkeit ist nicht mehr abzuweisen, dass selbst in jenen constanten Raumfunctionen, die von den specielleren, von Fall zu Fall wirkenden Erfahrungsmotiven relativ unabhängig sind, die während des individuellen Lebens wirkenden dauernderen Einflüsse ihre Spuren zurückgelassen haben. Gerade die individuellen Schwankungen in der Abweichung der correspondirenden Längsschnitte können leicht in diesem Sinne gedeutet werden. Auf diese Weise wird der Unterschied zwischen Nativismus und Empirismus ein fließender. Der Nativismus wandelt sich so zu sagen in einen auf die generelle Entwicklung erweiterten Empirismus um; und da ein Glied innerhalb dieser Entwicklung

immerhin auch das Individuum ist, so ist die Frage, inwieweit in den vererbten und angeborenen Functionen individuelle Abänderungen möglich seien, zunächst eine offene, die in jedem einzelnen Fall der näheren Untersuchung bedarf.

Anders verhält es sich freilich mit jenem Bestandtheil der Theorie, den man als ihren psychologischen Nativismus bezeichnen könnte. Nach diesem gibt es kein wirkliches Sehen, bei dem wir nicht die Sehdinge in irgend einer Richtung erblicken, durch die ihr Verhältniss zu unserem eigenen unmittelbar räumlich empfundenen Körper ausgedrückt werde: diese Richtungsbestimmung soll durch unsern »Willen« geschehen, der, weil es ohne solche Richtungsbestimmung keinen Raum gibt, von MACH folgerichtig die »Raumempfindung selbst« genannt wird. Nun ist es aber klar, dass dieser psychologische Nativismus zunächst mit dem physiologischen der Netzhautelemente in einen schwer lösbaren Conflict geräth. Entweder gewinnen die letzteren die ihren Empfindungen anhaftende räumliche Eigenschaft erst dadurch, dass der Wille die Empfindungen irgendwohin localisirt: dann ist ihre angeborene Raumfunction hinfällig, der Raum ist ausschließlich eine Function des Willens und, weil der Wille eine ursprüngliche, selbst ohne ein eigentliches Empfindungssubstrat zu denkende Function ist (Muskelempfindungen werden ja ausdrücklich abgelehnt), eine sogenannte »reine Anschauung a priori«, in welche die Netzhautempfindungen eingetragen werden. Oder die räumliche Ordnung kommt überall nur durch ein Zusammenwirken des Willens mit den Netzhautempfindungen zu stande: dann ist die Raumanschauung, da ein solches Zusammenwirken erst während des individuellen Lebens entstehen kann, selbst ein Product der individuellen Entwicklung, und der Boden der nativistischen Theorie ist verlassen. Zu diesen augenfälligen Schwierigkeiten kommt endlich, psychologisch betrachtet nicht als die geringste, der eigenthümliche Willensbegriff dieser Theorie. Jener die Richtungen im Raum bestimmende und die Blickbewegungen lenkende Wille soll weder aus Sinnesempfindungen noch aus Gefühlen bestehen, er soll »reiner Wille« sein. Er ist also offenbar nichts als ein abstracter Begriff. Er ist, darüber kann man sich nicht täuschen, das Willensvermögen der alten Vermögenspsychologie. Dabei ist es nun aber merkwürdig, dass die nativistische Theorie, indem sie hier einen abstracten Begriff in eine wirkende Kraft umwandelt, ihrerseits nichtachtend an Organisationsbedingungen vorübergeht, die ebenso gut wie die Anordnung der Netzhautelemente angeborene sind. Die Beziehungen der Augenbewegungen zu den Netzhauteindrücken sind nach ihr während des Lebens unter der Lenkung der Aufmerksamkeit und des Willens entstanden, während doch gerade beim Auge ursprüngliche, rein physiologische

Reflexverbindungen, wie zwischen den Irisbewegungen und den Lichteindrücken, so auch zwischen diesen und den Augenbewegungen thatsächlich vorhanden sind. Diese ebenfalls angeborenen Beziehungen werden von der nativistischen Theorie, wie es scheint, nur deshalb ignorirt, weil die Vorstellung der alten Naturphilosophen, dass das Netzhautbild aus dem Object selbst mit allen seinen räumlichen Eigenschaften herübergewandert sei, in ihr immer noch nachwirkt.

Die Mängel der nativistischen Theorie lassen sich hiernach auf drei Momente zurückführen. Erstens behält sie die rein anatomische Begründung des MÜLLER'schen Identitätsprincips bei, obgleich der Versuch der Anpassung dieses Princips an die Erfahrung in dem Ersatz der »identischen« durch die »correspondirenden« Punkte zwingend auf functionelle Motive hinweist. Zweitens arbeitet sie mit dem unhaltbaren Willensbegriff der Vermögenspsychologie, der hier, wie in andern Fällen, an die Stelle der wirklichen Analyse der Erscheinungen ein bloßes Wort treten lässt. Drittens schränkt sie, durch eben diesen falschen Vermögensbegriff verführt, das nativistische Princip einseitig und vollkommen willkürlich auf die sensorische Seite der Sehfunctionen ein, statt es in den ihm zukommenden berechtigten Grenzen auch auf die motorische auszudehnen. Trotz dieser schweren und unheilbaren Mängel hat die nativistische Theorie ein Verdienst. Es besteht darin, dass sie, gegenüber einer einseitigen Ueberschätzung der während des individuellen Lebens einwirkenden Bedingungen der Wahrnehmungsvorgänge, eindringlich, wenn auch einseitig, auf die Bedeutung der ursprünglichen psychophysischen Organisation der Sinnesapparate hinwies.

b. Die empiristische Theorie.

Die empiristische Theorie ist durch den älteren philosophischen Empirismus und seine Vertreter in der Psychologie, wie JAMES MILL, JOHN STUART MILL, ALEX. BAIN u. A., vorbereitet worden. Ihre für die Gegenwart maßgebende Ausbildung hat sie durch HELMHOLTZ gefunden, der darum hier ebenso als der classische Repräsentant des Empirismus wie HERING als der des Nativismus betrachtet werden darf. Als methodologische Regel dieser Anschauung hat HELMHOLTZ den Satz aufgestellt, nichts dürfe in unseren Sinneswahrnehmungen als Empfindung anerkannt werden, »was durch Momente, die nachweisbar die Erfahrung gegeben hat, im Anschauungsbilde überwunden und in sein Gegentheil verkehrt werden kann«. Nach dieser Regel sollen »nur die Qualitäten der Empfindung als wirklich reine Empfindungen zu betrachten«, die Raumanschauungen also ein »Product der Erfahrung und Einübung« sein[1]. Beide setzen

[1] HELMHOLTZ, Physiologische Optik[2], S. 611. HELMHOLTZ sagt allerdings nur »die

wiederholte Sinneseindrücke, Gedächtniss, Aufmerksamkeit und namentlich Urtheile und Schlüsse voraus, wobei sich aber die letzteren bei der Anschauung nicht, wie beim eigentlichen Denken, in bewusster Weise, sondern als unbewusste Denkacte vollziehen sollen. Ihrer logischen Beschaffenheit nach sind dieselben »Inductionsschlüsse«, da wir bei ihnen nach früheren Erfahrungen neue Eindrücke beurtheilen[1]. Den Resultaten aller dieser Schlüsse wird nun, eben weil sie nicht bewusste Denkacte sind, die Eigenschaft zugeschrieben, dass man ihren Inhalt nicht angeben könne, ohne das, was in ihm ausgesprochen ist, eigentlich schon vorauszusetzen. Ich kann immer nur sagen: »links ist etwas helles, weil ich es dort sehe«, oder: »wenn ich das Auge rechts drücke, so sehe ich links einen Schein« u. dergl., Urtheile, in denen die durch die Wahrnehmung gewonnenen räumlichen Bestimmungen schon enthalten sind[2]. Der Wirklichkeit gegenüber sind daher die Empfindungen »Zeichen«, die auf jene hindeuten, nicht sie selbst. Indem aber in der Ordnung dieser Zeichen eine ebensolche Gesetzmäßigkeit herrscht, wie wir sie für die Wirklichkeit voraussetzen, folgt auch das unbewusste Denken der sinnlichen Wahrnehmungen dem »Causalgesetz«, das demnach »ein a priori gegebenes, ein transcendentales Gesetz« ist[3].

Die Erfahrungsmotive, die der räumlichen Ordnung der Lichteindrücke zu Grunde liegen, müssen hiernach nothwendig von dreierlei Art sein. Sie bestehen: 1) aus Empfindungen, die uns eine richtige Kenntniss der Stellung unseres Körpers und Kopfes gegen eine beliebig gewählte äußere Grundlage, z. B. den Fußboden, geben, 2) aus Empfindungen, die ein Urtheil über die Stellung unserer Augen im Kopfe möglich machen, 3) aus Momenten der Empfindung, sogenannten Localzeichen, durch die wir die Reizung einer bestimmten Netzhautstelle von der Reizung aller andern unterscheiden. Unter diesen drei Erfahrungsmotiven ist uns das erste in den Tastempfindungen gegeben, das zweite in »Innervationsgefühlen«, die theils die wirklichen Bewegungen und Stellungen, theils aber die bloß intendirten Bewegungen des Auges begleiten. Das dritte ist hypothetisch: wie die Localzeichen beschaffen sind, wissen wir nicht, und es ist gleichgültig, ob wir eine regelmäßige oder eine beliebig unregelmäßige Vertheilung derselben über die Netzhautfläche annehmen.

---

meisten Raumanschauungen«. Da aber unmittelbar vorher der Inhalt der reinen Empfindung unbedingt auf die Qualitäten derselben eingeschränkt wird, so ist wohl die Raumanschauung überhaupt gemeint.

[1] »Analogieschlüsse« nennt sie darum auch HELMHOLTZ in der 1. Aufl. (S. 430). In der 2. Aufl. ist dieser Name hinweggelassen. Die Schilderung des stattfindenden Schlussverfahrens ist aber unverändert geblieben.

[2] A. a. O.[2] S. 582 f.

[3] Ebend. S. 594.

Da nun die Wahrnehmung der Stellungen unseres Körpers dem Gebiet des Tastsinnes zufällt, so kommen für die Gesichtswahrnehmungen als solche hauptsächlich das zweite und dritte Motiv in Betracht. Hierbei vermitteln die Localzeichen die Wahrnehmung der räumlichen Ordnung der Objectpunkte, die »Innervationsgefühle« der Augenmuskelnerven die der Stellung der Objecte zu unserem Körper, und beim binocularen Sehen verbinden sich die Innervationsgefühle beider Augen zur mittleren Sehrichtung, während zugleich die durchgängig verschiedenen Localzeichen beider Augen die Bildung stereoskopischer Wahrnehmungen vermitteln, an die sich dann die weiteren Erfahrungsmotive der zeichnerischen und malerischen Perspective anschließen. Die Sinnestäuschungen aber sind, so weit sie nicht auf directer Veränderung des Netzhautbildes beruhen, als »Urtheilstäuschungen« zu betrachten, die durch einen ungewöhnlichen, der normalen Erfahrung nicht entsprechenden Gebrauch unserer Sinnesorgane entstehen[1].

Nun kann zunächst die methodologische Regel, von der diese Theorie ausgeht, keineswegs als das, wofür sie sich ausgibt, als ein unbestreitbares Axiom gelten. Die Annahme, was durch Erfahrungseinflüsse verändert oder sogar in sein Gegentheil verkehrt wird, sei selbst erst durch Erfahrung entstanden, ist möglich, aber nicht logisch nothwendig. Man wird sie höchstens als eine vorläufige heuristische Maxime gelten lassen können, die ihre Berechtigung durch ihre Brauchbarkeit zu erweisen hat. Hier zeigt sich aber bei der Anwendung der drei oben angeführten Erfahrungsmotive auf die speciellen Probleme, dass in ihnen allen schon irgend etwas Räumliches vorausgesetzt ist, das immer nur durch Erfahrungseinflüsse irgendwie modificirt werden kann. Mögen sich z. B. die »Innervationsgefühle« oder, wie wir es nach dem früher (S. 33) bemerkten wohl besser ausdrücken, die centralen Innervationsempfindungen noch so oft wiederholen, wir werden nie durch Erfahrung dazu kommen, sie auf die Stellung unserer Augen im Raum zu beziehen, wenn sie nicht selbst eben das, worin sie uns orientiren sollen, den Raum, schon enthalten. Genau ebenso verhält es sich mit den Localzeichen. Zugegeben, jeder Netzhautpunkt sei mit einer solchen hypothetischen Qualität ausgestattet, durch die sich seine Reizung von der jedes andern Punktes unterscheide: so lange diese Qualität eine »reine Empfindung« ist, bleibt nicht abzusehen, wie sie durch noch so häufige Wiederholung und Vergleichung die räumliche Eigenschaft gewinnen soll. Nun neigt sich HELMHOLTZ offenbar der seit BERKELEY vielfach ausgesprochenen Meinung zu, es sei der Tastsinn, der, als der ursprünglichere Sinn, diese Beziehung

[1] Ebend. S. 948 ff.

der Lichteindrücke auf den Raum vermittle [1]. Dieser Annahme steht jedoch schon der Umstand im Wege, dass beim Menschen ein solcher Einfluss des Tastsinns durchaus nicht nachgewiesen werden kann, sondern dàss im Gegentheil die Localisation der Tasteindrücke beim Sehenden und selbst noch beim Erblindeten unter der Mitwirkung der Gesichtsvorstellungen zu stande kommt [2]. Und selbst wenn man diesen im vorliegenden Fall unzulässigen Schluss von der generellen auf die individuelle Entwicklung als berechtigt anerkennen wollte, so würde durch die Berufung auf den Tastsinn das Problem doch nur weiter zurückgeschoben. Das Resultat bleibt also, dass die empiristische Theorie die in ihrer methodologischen Regel gestellte Aufgabe nicht zu lösen vermag. Dieser Misserfolg ist aber im letzten Grunde dadurch verschuldet, dass diese Theorie den der alten Erfahrungsphilosophie entnommenen Satz, alles Wissen stamme aus der Erfahrung, auf die diesem Satze unzugänglichen, weil in jenem Begriff der Erfahrung überhaupt nicht enthaltenen Thatsachen der Sinneswahrnehmung anzuwenden sucht. Als der von JOHN LOCKE und seiner Schule vertretene philosophische Empirismus die Behauptung aufstellte, alles Wissen stamme aus der Erfahrung, bezog er dieselbe ebenso gut auf einfache Empfindungen wie auf zusammengesetzte Wahrnehmungen; aber er bezog sie nicht oder doch nur in beschränktem Umfang auf das, was zwischen beiden liegt: auf die Processe, durch die sich Empfindungen zu Wahrnehmungen verbinden. Denn die Probleme der heutigen Sinneslehre existirten für ihn nicht, da ihm zahlreiche Vorstellungen, die wir heute als zusammengesetzte betrachten, noch für einfache Empfindungen galten. Dazu gehörten vor allem auch die Raumvorstellungen. Sie sind ihm, wie die Empfindungen überhaupt, das Material, dessen sich die Erfahrung bemächtigt, und aus dem sich unsere Erkenntniss der Dinge aufbaut. Schon in der Psychologie des 18. Jahrhunderts änderte sich jedoch allmählich diese Sachlage. Die Veränderlichkeit der Wahrnehmungsinhalte unter wechselnden objectiven wie subjectiven Bedingungen führte zu der Ueberzeugung, dass manche Eigenschaften, wie die Vorstellung der Entfernung und der Größe der Objecte, keineswegs zum unveränderlichen Bestand der Empfindungen gehörten. Da man aber neben diesem nur jene durch gedächnissmäßiges Anhäufen und logisches Vergleichen entstandene Beurtheilung des Wahrgenommenen kannte, die man eben »Erfahrungserkenntniss« nannte, so wurden nun solche besondere Bestandtheile der Sinneswahrnehmung ebenfalls zu den Producten dieser Erfahrungserkenntniss gerechnet. So bildete sich eine

---

[1] A. a. O. S. 947.
[2] Siehe oben Cap. XIII, S. 461 ff.

Anschauung aus, die zuletzt auch in der Sinnesphysiologie des 19. Jahrhunderts die herrschende wurde, und nach der die räumlichen »Flächenwahrnehmungen« dem ursprünglichen Empfindungsinhalt zufallen, die »Tiefenwahrnehmungen« aber durch Erfahrung entstehen sollten. Diese zwiespältige Auffassuung zusammengehöriger und durchgängig übereinstimmender Erscheinungen erweckte aber schließlich doch wieder das Streben nach einer einheitlichen Erklärung. Ihr lagen dann zwei entgegengesetzte Wege offen: entweder konnte man versuchen, die ganze Raumanschauung nach Fläche wie Tiefe dem Thatbestand ursprünglicher Empfindungen einzuverleiben; oder man konnte sie in allen ihren Bestandtheilen aus der Erfahrung ableiten. So entstanden, als die Endglieder dieser Entwicklung, die nativistische und die empiristische Theorie. Bei beiden Theorien war jedoch ein Gesichtspunkt übersehen worden, der bei der psychologischen Behandlung der Wahrnehmungsprobleme um so mehr in den Vordergrund treten musste, je mehr sich indessen der dem alten Empirismus entstammende Begriff der »Erfahrung«, mit dem beide Theorien arbeiteten, auch von erkenntnisstheoretischer Seite als ungenügend erwies. Dieser Gesichtspunkt besteht darin, dass ein psychologischer Vorgang, der auf einem Zusammenwirken von Empfindungen beruht, und bei dem diese die Componenten neuer und eigenthümlicher psychischer Producte bilden, nicht nothwendig ein Process sogenannter »Erfahrung« zu sein braucht, ja sogar nur selten durch diesen Ausdruck auch nur nothdürftig nach seiner wirklichen Beschaffenheit angedeutet wird. Jede Sinneswahrnehmung bietet in jener Assimilation des Eindrucks durch eine meist unbestimmt große Anzahl reproductiver Elemente, wie sie uns bei den geometrisch-optischen Täuschungen so vielfach begegnet ist, einen psychologischen Vorgang, der das entstehende Product nicht als ein ursprüngliches, sondern als ein gewordenes, aber keineswegs als ein auf dem Wege der »Erfahrung« gewordenes erscheinen lässt[1]. Es gibt eben zwischen der angeborenen und der durch Erfahrung vermittelten Beschaffenheit unserer Vorstellungen ein Mittleres: dieses Mittlere besteht in den ebensowohl in der physischen Organisation der peripheren und centralen Sinnesapparate wie in den allgemeinsten Eigenschaften des Bewusstseins begründeten Associationsvorgängen. Die Producte, die aus ihnen hervorgehen, können nicht angeborene Thatsachen genannt werden, weil sie überall auf diese Vorgänge und die veränderlichen Einflüsse, unter denen sie stehen, hinweisen. Sie können aber auch nicht Erfahrungsproducte genannt werden, weil die Erfahrung im eigentlichen Sinne überall bereits diese Producte

[1] Vgl. oben S. 566 f.

voraussetzt. Jener Hauptmangel der empiristischen Theorie, dass sie zwischen ursprünglichem und erfahrungsmäßig erworbenem Inhalt des Bewusstseins kein Mittleres kennt, verschuldet nun auch den eigenthümlichen erkenntnisstheoretischen Nativismus, dem diese Theorie im Widerspruch mit ihren eigenen Voraussetzungen anheimfällt. Wie und wo wir die Dinge sehen, das soll auf Erfahrung beruhen. Doch wir würden nach der empiristischen Theorie keine Erfahrungen machen können, wenn wir nicht das logische Denken und das Causalgesetz, aus dem jenes in allen seinen Anwendungen entspringt, von Anfang an in uns trügen. Diese Ansicht hält in den drei Behauptungen, die sie einschließt, einer unbefangenen Prüfung nicht Stand. Erstens sind unsere Wahrnehmungen keine logischen Denkacte: weder bewusste noch unbewusste. Zu den letzteren werden sie erst, wenn wir unsere nachträgliche Reflexion über die Dinge in diese selber hineintragen. Zweitens ist das Causalgesetz kein Princip, auf das sich das logische Denken als solches zurückführen lässt, die Induction so wenig wie die Deduction; sondern es ist ein Princip, das sich überall auf Erfahrungsinhalte bezieht. Drittens ist es eben darum unmöglich, das Causalgesetz ein Princip a priori zu nennen, es sei denn dass man entweder Begriffe ohne Anschauungen für möglich hält, oder dass man wenigstens im Anschlusse an KANT die ursprünglichen Anschauungsformen, Raum und Zeit, gleichzeitig mit dem Causalbegriff für a priori gegeben hält. Das letztere wird aber ja gerade von der empiristischen Theorie wenigstens in Bezug auf den Raum geleugnet.

Von den Anhängern der empiristischen Theorie sind als besonders schlagende Zeugnisse für die Entstehung der Gesichtswahrnehmungen durch Erfahrung noch die Beobachtungen an operirten Blindgeborenen angesehen worden. Die älteren Autoren pflegen großentheils rein theoretisch die Frage zu erörtern, wie die Wahrnehmungen eines von Geburt an Erblindeten, dem plötzlich das Augenlicht gegeben werde, beschaffen sein möchten[1]. Beobachtungen über solche Fälle sind namentlich von CHESELDEN[2], WARDROP[3], FRANZ[4] und in neuerer Zeit von TRINCHINETTI[5], HIRSCHBERG[6], VON HIPPEL[7], RAEHLMANN[8] und UHTHOFF[9] beschrieben worden. Dabei kommt jedoch in Betracht,

---

[1] Vgl. LOCKE, Human understanding, vol. 2, 9, § 8. BERKELEY, Theory of vision. 1709, § 41, p. 255. DIDEROT, Lettres sur les aveugles. 1749. Oeuvres. t. 3, 1773, p. 115. CONDILLACS ganzer Traité des sensations (1754) ist auf ähnliche Betrachtungen gegründet.

[2] Philos. Transact. vol. 35, 1728, p. 447. Vgl. HELMHOLTZ, Physiologische Optik[1], S. 587, [2] S. 731 ff.

[3] History of James Mitchell a boy born blind and deaf. 1813. Philos. Transact. vol. 3, 1826, p. 52z. HELMHOLTZ, a. a. O.

[4] Philos. Mag., vol. 19, 1841, p. 156.

[5] Arch. des sciences phys. de Genève, t. 6, 1847, p. 336.

[6] Archiv für Ophthalmologie, Bd. 21, 1, 1875, S. 23.

[7] Ebend. Bd. 21, 2, 1875, S. 101.

[8] Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane, Bd. 2, 1891, S. 72 ff.

[9] UHTHOFF, Festschrift zu HELMHOLTZ' 70. Geburtstag, S. 115 ff. Zeitschr. f. Psychol. Bd. 14, 1897, S. 139.

dass es sich meist nur um Staarkranke handelte, bei denen die Unterscheidung von Hell und Dunkel und der Richtungen des Lichtes schon vor der Operation möglich war. Alle Berichte stimmen nun darin überein, dass die Operirten ein Urtheil über die Entfernung der Gegenstände nicht besitzen, und dass sie die Größe und Form derselben nur sehr unvollkommen auffassen, letzteres namentlich dann, wenn Erhabenheiten und Vertiefungen vorkommen. Ein Gemälde erscheint ihnen anfänglich wie eine bunt bemalte Fläche; erst allmählich lernen sie die Bedeutung der Schattirung und Perspective verstehen. Dem Operirten von Franz erschienen entfernte Gegenstände so nah, dass er sich fürchtete an sie anzustoßen. Einfache Formen, wie Vierecke und Kreise, erkannte er zwar ohne Betastung, aber er musste erst über sie nachdenken, wobei er angab, dass er gleichzeitig ein gewisses Gefühl in den Fingerspitzen (ohne Zweifel reproducirte Tastempfindungen) zu Rathe ziehe. Die von Wardrop operirte Dame, deren Blindheit vollständiger gewesen war, konnte einen Schlüssel und einen silbernen Bleistifthalter, die sie durch Betasten deutlich erkannt hatte, mit dem Gesicht nicht unterscheiden. Ganz ähnlich verhielten sich auch die von Uhthoff Operirten. Offenbar sind in allen diesen Fällen jene Bestandtheile der monocularen Gesichtswahrnehmung, die auf loseren Associationen beruhen (S. 645 ff.), unvollkommen oder gar nicht ausgebildet. Ebenso zweifellos geht aber auch aus den Beschreibungen hervor, dass alle Operirte die Eindrücke in räumlicher Ordnung auffassten und ihre Richtungen unterschieden. Die Verlegenheit oder sogar das Unvermögen die Gestalt der Objecte anzugeben darf in dieser Beziehung nicht irre machen. Der Operirte hat bisher seine Vorstellungen nach den Eindrücken des Tastsinns geordnet. Um eine durch den Gesichtssinn wahrgenommene Form zu bezeichnen, muss er sie also mit der Tastvorstellung vergleichen, sei es durch unmittelbares Betasten, sei es durch Herbeiziehen reproducirter Tastvorstellungen. Als Beweise für die ursprüngliche Bildung der Gesichtsanschauung durch Erfahrung können daher diese Beobachtungen nicht angeführt werden. Wenn der ältere Empirismus seit Locke und Berkeley von dem Verhalten der Blindgeborenen, nachdem ihnen das Augenlicht gegeben ist, entscheidende Aufschlüsse über das Wesen der Gesichtswahrnehmungen erwartete, so war dies also ein Irrthum, der auf demselben unzulänglichen Begriff der »Erfahrung« beruhte, der eine psychologisch zureichende Lösung der Wahrnehmungsprobleme auf diesem Standpunkte unmöglich machte. Dass die neuere empiristische Theorie ebenfalls diesem Irrthum anheimfiel, ist aus dem gleichen Grunde verständlich. In Wahrheit sind die Beobachtungen an operirten Blindgeborenen eigentlich mehr für die Psychologie des Tastsinns als für die des Gesichtssinns von Bedeutung. Sie zeigen, dass die räumlichen Tastwahrnehmungen, sobald die bei dem Sehenden stets hinzutretenden Gesichtsassociationen fehlen, trotz ihrer Einordnung in eine in ihren wesentlichen Eigenschaften übereinstimmende räumliche Mannigfaltigkeit, im einzelnen durchaus unvergleichbar den Gesichtswahrnehmungen sind. Anderseits freilich lässt sich die Beobachtung, dass von Geburt an Blinde, deren Netzhaut erregbar geblieben ist, ihre subjectiven Lichtempfindungen irgendwie localisiren, ebenso wenig im nativistischen Sinne verwerthen. Wenn z. B. der Blinde die durch einen Druck auf das Auge entstehende Lichterregung nach der dem Druck gegenüberliegenden Seite verlegt, genau so wie der Sehende, so beweist das nicht, dass die Netzhaut die angeborene Energie besitzt, nasale Reize tempo-

ralwärts und temporale nasalwärts zu sehen[1], sondern es beweist nur, dass, insoweit bei solchen Blinden noch Lichtwahrnehmungen möglich sind, diese bei ihnen nach denselben Gesetzen zu stande kommen wie bei den Sehenden. Da aber die Blinden mit empfindlicher Netzhaut auch noch über Augenbewegungen und reflectorische Verbindungen der sensorischen und motorischen Apparate des Auges verfügen, so ist nicht einzusehen, warum jene räumliche Beziehung nicht auch bei ihnen ein Product des Zusammenwirkens aller dieser Functionen sein sollte.

c. Die Theorie der complexen Localzeichen.

Die nativistische und die empiristische Theorie der Gesichtswahrnehmungen haben sich uns beide als undurchführbar erwiesen. Die nativistische geräth in einen unheilbaren Widerspruch mit sich selbst, indem sie auf der einen Seite der sogenannten »Erfahrung« unzulässige Zugeständnisse macht, und auf der andern die physiologische Basis, auf die sie sich gestellt, verlässt, um in dem abstracten »Willen«, der »Aufmerksamkeit« oder der »Einbildungskraft« räthselhafte und völlig substratlose Geisteskräfte zu Hülfe zu rufen. Die empiristische Theorie operirt mit einem erkenntnisstheoretisch längst unhaltbar gewordenen Erfahrungsbegriff und mit Inductions- oder Analogieschlüssen, in deren Prämissen eigentlich alles das was sie erklären will bereits eingeschlossen ist, um sich endlich mit der Annahme angeborener Begriffe einem extremen Nativismus in die Arme zu werfen. Dabei übersehen beide Theorien eine dritte Möglichkeit: die nämlich, dass die Entstehung einer Wahrnehmung ein psychologischer Vorgang ist, der der eigentlichen Erfahrung vorausgeht, ohne darum in den Empfindungen oder deren physischen Bedingungen an und für sich enthalten zu sein. Gerade diese dritte Möglichkeit ist aber vom psychologischen Standpunkte aus die einzige überhaupt zulässige. Was zwischen der Empfindung und der Erfahrung im eigentlichen Sinne in der Mitte liegt, das eben ist der Vorgang der Wahrnehmung oder Vorstellungsbildung selbst, der der Erfahrung ihre Objecte gibt und sie dadurch erst möglich macht. Darum ist das Unternehmen, die Sinneswahrnehmung aus der Erfahrung ableiten zu wollen, ein Hysteron proteron; ebenso wie das andere, sie lediglich aus physischen Organisationsverhältnissen erklären zu wollen, eine Verwechselung der zu diesen Vorgängen bereitstehenden Hülfsmittel mit den Vorgängen selbst ist. Nicht nativistisch, sondern präempiristisch, nicht empiristisch, sondern genetisch muss daher schließlich eine den psychologischen Forderungen genügende Theorie, und sie muss in dem Sinne ein Ausdruck der Erscheinungen selbst sein, dass sie lediglich die durch die experimentelle Analyse thatsächlich nachgewiesenen Bedingungen derselben

[1] SCHLODTMANN, Archiv für Ophthalmologie, Bd. 54, 1902, S. 264.

zur Geltung bringt. Sind die nativistische wie die empiristische Theorie beide dogmatisch, weil jede mit der in ihrem Namen schon ausgesprochenen Forderung den Thatsachen gegenüber tritt, so verhält sich die genetische Theorie kritisch. Abgesehen davon, dass sie die Entwicklung aller unserer Vorstellungen für zugestanden ansieht, betrachtet sie die Frage, inwieweit die Bedingungen dieser Entwicklung auf ursprünglich gegebenen Eigenschaften der psychophysischen Organisation oder auf bestimmten physischen oder psychischen Vorgängen beruhen, von vornherein als eine offene. Dabei kann nun freilich auch eine solche genetische Theorie der hypothetischen Elemente nicht ganz entbehren: sie würde ja nicht Theorie, sondern Thatsache sein, wenn das möglich wäre. Darum mag für die im Folgenden darzulegende Theorie eine Bezeichnung gewählt werden, die gerade diesen nicht zu vermeidenden hypothetischen Elementen entlehnt ist: der Name »Theorie der complexen Localzeichen«. Den Begriff des »Localzeichens« verstehen wir hier zunächst in seiner allgemeinsten, von jeder besonderen Theorie unabhängigen Bedeutung, in welcher er lediglich auf irgend ein Datum für unser Bewusstsein hinweist, das bei der Localisation eines Eindrucks wirksam ist. In dieser allgemeinen Verwendbarkeit des Begriffs besteht das Verdienst, das sich LOTZE durch die Einführung desselben erworben hat[1]. Die Frage, durch die LOTZE selbst zu ihm geführt wurde, war aber wesentlich eine metaphysische. Das Localzeichen war ihm ein Hülfsbegriff, durch den verständlich gemacht werden sollte, dass die Seele, obgleich sie selbst ein unräumliches »einfaches Wesen« sei, doch ihre Empfindungen extensiv ordne. Dazu bedarf sie nach LOTZEs Meinung physiologischer Hülfsmittel, und diese waren ihm die »Localzeichen«, während er die Fähigkeit zur Raumanschauung selbst als eine nicht weiter abzuleitende Eigenschaft der Seele betrachtete.

Im Gegensatze zu dieser metaphysischen Anwendung des Localzeichenbegriffs sucht nun die »Theorie der complexen Localzeichen« zunächst lediglich die Thatsache zum Ausdruck zu bringen, dass das Sehorgan Empfindungs- und Bewegungsorgan zugleich ist. Sie betrachtet daher die Gesichtswahrnehmung durchaus als ein gemeinsames Product dieser beiden Functionsrichtungen, des »Netzhautbildes« und des »Bewegungsbildes«. Demnach setzen wir einerseits qualitative Unterschiede der Netzhautempfindungen, die vom Ort des Eindrucks abhängen, und anderseits intensive Gradabstufungen der die Bewegungen und Stellungen des Auges begleitenden Spannungsempfindungen voraus, die beide in Folge der Reflexbeziehungen aller Netzhauterregungen zum

---

[1] LOTZE, Medic. Psychol., 1852, S. 331.

Netzhautcentrum in gesetzmäßiger Verbindung stehen. Von diesen beiden Bestandtheilen des Localzeichensystems kann der eine, die »Spannungs-« oder »inneren Tastempfindungen« des Augapfels, wohl als hinreichend sichergestellt durch die Convergenzversuche gelten (S. 596 f.). Mit den qualitativen Localzeichen der Netzhaut aber wird man wohl die in größeren Abständen nachweisbaren localen Unterschiede der Empfindung in Verbindung bringen können (Cap. X, S. 179). Sind gleich diese Unterschiede verhältnissmäßig geringfügig, so werden wir doch dabei die Thatsache mit in Rechnung ziehen dürfen, dass überhaupt kleine Unterschiede der Empfindung nicht unmittelbar als solche, sondern erst durch ihre Vorstellungsverbindungen einen Werth für das Bewusstsein gewinnen. Wenn wir z. B. eine einfarbige Fläche betrachten, so erscheint sie uns in allen ihren Theilen gleich; erst bei der Vergleichung getrennter Objecte von übereinstimmender Farbe im directen und indirecten Sehen überzeugen wir uns von der verschiedenen localen Färbung der Empfindungen. Schließt sich nach allem dem die Theorie der complexen Localzeichen unmittelbar an Thatsachen der Erfahrung an, so sind auf der andern Seite jene Widersprüche, in die sich die Annahme einfacher Localzeichen verwickelt, für sie nicht vorhanden. Wären z. B., wie LOTZE annahm, die »Bewegungstendenzen« des Auges die ausschließlich wirksamen Motive, so könnten zwischen den Wahrnehmungen bei bewegtem und jenen bei festgehaltenem Blick niemals Unterschiede eintreten. In Wahrheit sind aber solche bei zahlreichen Täuschungen des Augenmaßes nachzuweisen, indem entweder gewisse Täuschungen nur bei starrer Fixation auftreten, wie die constante Täuschung über die Richtungslinien im indirecten Sehen (S. 540), oder indem sich umgekehrt die bei der Bewegung hervortretenden Strecken- und Richtungstäuschungen bei der Fixation vermindern, weil sie durch die perspectivische Anpassung an das Netzhautbild compensirt werden, wie die variabeln Täuschungen (S. 547 ff.). Dagegen werden alle diese Erscheinungen erklärlich, wenn wir annehmen, dass sich die extensiven Vorstellungen für das ruhende Auge durch Localzeichen fixiren, die an die Netzhautempfindungen gebunden sind. Denn nun muss nothwendig auch das unmittelbare Lageverhältniss der Netzhautpunkte einen Einfluss gewinnen, der sich namentlich bei fixirendem Blick wegen der genaueren simultanen Vergleichung der Netzhautstrecken geltend macht. Ebenso sind diese Thatsachen mit der von der empiristischen Theorie gemachten Annahme unvereinbar, dass die Bewegungen und die in der Netzhaut fixirten Localzeichen unabhängig von einander extensive Vorstellungen vermitteln könnten. Denn wäre dies richtig, so müssten diejenigen Täuschungen, die von den Bewegungsgesetzen herrühren, verschwinden, sobald die Bewegung

ausgeschlossen ist. Der Umstand, dass dies nicht zutrifft, sondern dass gerade bei starr fixirendem Blick die Einflüsse des Netzhautbildes und der Bewegungen in ihrer combinirten Wirkung an den nun deutlich hervortretenden perspectivischen Erscheinungen zu erkennen sind, weist zwingend darauf hin, dass die extensive Vorstellung eine Function ist, die aus der associativen Verschmelzung von Spannungsempfindungen und localen Empfindungen hervorgeht, und von denen die ersteren bei ruhendem Auge als reproductive Elemente wirken. Nun werden freilich nicht alle geometrisch-optischen Täuschungen, die in den Bewegungsgesetzen des Auges ihren Grund haben, durch perspectivische Vorstellungen bei der Fixation compensirt. In diesen Fällen zeigt es sich jedoch stets, dass vermöge der obwaltenden Bedingungen die Bewegungsgesetze selbst an der festen Ordnung der Localzeichen betheiligt sind, so dass sich eben hierdurch diese Täuschungen als constante von den variabeln unterscheiden. Bedingung zu deren Entstehung ist demnach, dass »Bewegungsbild« und »Netzhautbild« niemals mit einander in Widerstreit gerathen. So entspricht die constante Täuschung, dass wir bei monocularer Beobachtung die Lage einer verticalen Linie unrichtig bestimmen, der ungezwungenen Bewegungsrichtung des Auges bei Auf- und Abwärtsbewegung (S. 562). In Folge dieser Abweichung der Bewegungsrichtung werden die Localzeichen a', b', c', d' . . ., die in einem zur Verticalen geneigten Netzhautmeridian liegen, während der Bewegung auf die Verticale bezogen. Dann liegt aber natürlich kein Grund vor, warum bei festgehaltenem Auge an die Stelle jener Reihe eine der wirklichen Verticalen entsprechende a, b, c, d . . . treten sollte.

Die Theorie der complexen Localzeichen lässt demnach völlig dahingestellt, ob die Seele selbst unräumlich oder räumlich sei, und ebenso lehnt sie es ab, den Ursprung der räumlichen Ordnung dem Tastsinn oder einer angeborenen Causalfunction zuzuweisen. Vielmehr betrachtet sie lediglich dies als ihre Aufgabe: die empirisch nachweisbaren Motive jener Ordnung in ihre Empfindungselemente zu zerlegen und über die gesetzmäßigen Verbindungen dieser Elemente Voraussetzungen zu machen, die durch die thatsächlich nachweisbaren Functionsverhältnisse des Sehorgans gefordert werden. Nun ist die Form, die wir dem Sehfelde geben, die Richtung und Lage der einzelnen Objecte in ihm sowie die Abmessung seiner Dimensionen abhängig von den Bewegungen des Auges, und dieser Einfluss der Bewegungen bleibt auch für das ruhende Auge bestehen. Denn im ganzen bildet dieses seine Vorstellungen gemäß den Bewegungsgesetzen. Die Erfahrungen am Tastorgan lehren aber, dass die Muskelempfindungen wahrscheinlich nur die Vorstellung von der Kraft der Bewegung vermitteln, und dass sie schon

auf die Vorstellung vom Umfang derselben bloß von mitbestimmendem Einflusse sind, während wir die Lage des tastenden Gliedes und demnach die Richtung, in der dasselbe bewegt wird, namentlich mittelst der Gelenkempfindungen auffassen (Cap. X, S. 35). Uebertragen wir dies auf das Auge, so wird anzunehmen sein, dass sich mit der Muskelempfindung, die ein gegebener Netzhauteindruck im indirecten Sehfelde in Folge der Reflexverbindung des gereizten Punktes mit dem Netzhautcentrum wachruft, immer zugleich die an die Bewegung des Auges gebundene, hier den Gelenkempfindungen äquivalente Tastempfindung reproducirt, die von dem Druck auf die sensibeln Theile der Orbita herrührt. Die Unsicherheit der reproducirten Empfindung im Vergleich mit dem unmittelbaren Eindruck erklärt die Ungenauigkeit der Größenabmessung bei ruhendem Auge, die geringere Stärke derselben begründet die Neigung, die Dimensionen des Sehfeldes und die Größe eines Reliefs kleiner zu schätzen als bei der Bewegung. Mit der stärkeren Muskelempfindung ist im allgemeinen eine größere Lageabweichung des Augapfels verbunden. So begreift es sich, dass, wenn in Folge einer Parese eine gegebene Bewegung erschwert ist, die Lageänderung des Auges und die Ausdehnung in der betreffenden Richtung überschätzt wird. Aber da bei wirklich ausgeführter Bewegung die Tastempfindungen sich allmählich der verschobenen Scala der Muskelempfindungen wieder anpassen, so ist anderseits die Ausgleichung solcher Störungen verständlich. Bilden die Druckempfindungen im Innern des Auges, wie jene Analogie mit den Gelenkempfindungen annehmen lässt, nicht sowohl Bestandtheile des intensiven, als vielmehr ergänzende Elemente des qualitativen Localzeichensystems der Netzhaut, so sind sie es wahrscheinlich, die an der Auffassung der Richtungen des Sehens, sowie an der binocularen Synergie der Empfindungen betheiligt sind. Diese inneren Tastempfindungen des Auges zeigen in der That charakteristische Unterschiede je nach der Richtung, in der das einzelne Auge, oder je nachdem das rechte oder linke Auge bewegt wird. Es ist daher wahrscheinlich, dass auch bei Eindrücken auf das ruhende Doppelauge mittelst der Localzeichen des Tastsinns die Beziehung der Bildunterschiede auf die Tiefeneigenschaften der Objecte zu stande kommt, wobei wir uns, wie überall bei solchen Verschmelzungen, nicht der subjectiven Unterschiede selbst, sondern nur der objectiven Eigenschaften, deren Wirkungen sie sind, bewusst werden. Das nämliche gilt von der Richtung, die wir den Conturen im Sehfelde anweisen, insbesondere also auch von der Thatsache, dass wir die Objecte aufrecht sehen, gemäß ihrer wirklichen Lage im Raume, nicht verkehrt, wie das Netzhautbild sie darstellt. Indem wir den Gegenstand von seinem oberen bis zu seinem unteren Ende mit dem Blick verfolgen, bildet sich die

Vorstellung, dass sein oberes Ende unserm Kopf, sein unteres unseren Füßen in seiner Lage entspricht.

So ist denn die Gesichtsvorstellung im wesentlichen auf denselben Process zurückzuführen wie die räumliche Tastvorstellung (Cap. XIII, S. 493 ff.). Die Netzhautempfindungen samt ihren Localzeichen verschmelzen mit den Spannungsempfindungen des Bewegungsapparats zu untrennbaren Complexen. Was aber die Gesichtsvorstellungen auszeichnet, ist die Beziehung jener Empfindungscomplexe auf einen einzigen Punkt, das Netzhautcentrum. Dieses Verhältniss zum Blickpunkt, das auch die functionelle Verbindung der beiden Augen zum Doppelauge erst möglich macht, wurzelt in den Bewegungsgesetzen, unter denen namentlich das Gesetz der Correspondenz von Apperception und Fixation hier von entscheidender Bedeutung ist (S. 533).

Insofern nun die Bewegungsgesetze in einem angeborenen centralen Mechanismus präformirt sind, bringt das Individuum zweifellos eine vollständig entwickelte Disposition zur unmittelbaren räumlichen Ordnung seiner Lichtempfindungen in die Welt mit. Mag aber darum auch die Zeit, die zwischen der Einwirkung der Netzhauteindrücke auf das Auge und der Bildung einer Vorstellung verfließt, unter Umständen sehr kurz sein, so kann doch die Vorstellung selbst erst durch einen bestimmten psychischen Vorgang verwirklicht werden. Für das Stattfinden eines solchen treten zudem alle jene Thatsachen überzeugend ein, die gewisse erst in Folge der individuellen Function actuell werdende Empfindungen als die bestimmenden Momente der Gesichtsvorstellungen erweisen. Der Process, durch den sich hier aus den Empfindungen die Vorstellungen entwickeln, kann aber wiederum als eine Verschmelzung bezeichnet werden, weil das entstehende Product Eigenschaften zeigt, die in dem sinnlichen Material, das zu seiner Bildung verwandt wurde, nicht unmittelbar enthalten sind. Diese Verschmelzung enthält qualitativ veränderliche periphere Sinnesempfindungen und intensiv abgestufte Spannungsempfindungen als ihre Bestandtheile. Da jedes Auge nach zwei Hauptrichtungen gedreht werden kann (Hebung und Senkung, Außen- und Innenwendung), zwischen denen alle möglichen Uebergänge stattfinden, jeder Stellung aber ein bestimmter Complex von Druckempfindungen in der Orbita und von Localzeichen der Netzhaut entspricht, so bilden diese zusammen ein qualitatives Localzeichensystem von zwei Dimensionen. Diese Dimensionen sind ungleichartig, weil sich nach jeder Richtung die Localzeichen wie die Druckempfindungen in abweichender Weise ändern. Indem nun die an die Bewegung und an ihre Reproductionen im ruhenden Auge gebundenen Spannungsempfindungen, die ein intensives Continuum von einer Dimension bilden, jenes ungleichartige

Continuum nach allen Richtungen ausmessen, führen sie dasselbe auf ein gleichartiges Continuum von zwei Dimensionen, auf eine Raumoberfläche zurück. So entsteht das monoculare Sehfeld, als dessen Hauptpunkt vermöge der Beziehung der Spannungsempfindungen und Localzeichen auf das Netzhautcentrum der Blickpunkt erscheint, und dessen allgemeinste Form wegen der Verschiebungen des Blickpunktes bei der Bewegung die um den Drehpunkt des Auges gelegte Kugeloberfläche ist. Dabei ist die Entfernung des Blickpunktes vom Sehenden, also der Halbmesser des kugelförmigen Sehfeldes, im monocularen Sehen nur durch den jeweiligen Accommodationszustand einigermaßen begrenzt. Eine festere Bestimmung erfolgt erst binocular mittelst der Convergenzempfindungen. Als allgemeinste Form des Sehfeldes kann hier wieder eine Kugeloberfläche angesehen werden, deren Centrum dem Mittelpunkt der Verbindungslinie zwischen den Drehpunkten beider Augen entspricht. Zugleich wird aber die Form des Sehfeldes eine wechselndere, indem der gemeinsame Blickpunkt Oberflächen von der verschiedensten Form durchwandern kann. Demnach wird auch die Verbindung der Localzeichensysteme beider Augen mit den Spannungsempfindungen des Doppelauges eine variable. So kann z. B. ein Localzeichen a des rechten Auges mit einem Zeichen a' des linken sich verbinden, die beide einem Punkt 10° nach links vom Blickpunkt entsprechen. An diese Verbindung $a\,a'$ wird dann eine Spannungsempfindung des Doppelauges von 10° geknüpft sein. Es kann sich aber auch das Zeichen a etwa mit einem andern a'' verbinden, das einem nur um 5° links gelegenen Punkte zugehört: dann wird der Verbindung $a\,a''$ eine andere Spannungsempfindung entsprechen, die aus Linkswendung und Convergenz zusammengesetzt ist. Bezeichnen wir den Abstand eines jeden Netzhautpunktes vom Netzhauthorizont als Höhenabstand, den vom verticalen Netzhautmeridian als Breitenabstand, so sind demnach im allgemeinen nur die Localzeichen von Punkten, die gleichen Höhenabstand haben, einander zugeordnet; dagegen können die Breitenabstände derjenigen Punkte, deren Localzeichen sich verbinden, wechseln, und jedesmal verändert sich damit auch die Spannungsempfindung des Doppelauges. Welche Verbindung wirklich stattfindet, darüber entscheidet zunächst der Lauf der Fixationslinien (S. 606 ff.). Es werden also diejenigen Punkte einander zugeordnet, die objectiv zu zusammengehörigen Fixationslinien gehören, während sich überdies die Localzeichen jener Punkte, die der gewöhnlichen Form des Sehfeldes entsprechen, leichter als andere verbinden. Demnach handelt es sich hier um eine complicirtere Verschmelzung. Wir können uns dieselbe in zwei Acte zerlegt denken: in einen ersten, durch den mittelst Localzeichen und Spannungsempfindung des ersten Auges die Lage eines

gegebenen Punktes a im Verhältniss zum Blickpunkt, und in einen zweiten, durch den beim Hinzutritt des zweiten Auges die Lage des Blickpunktes sowohl wie des Punktes a im Verhältniss zum Sehenden festgestellt wird. Denken wir uns das monoculare Sehfeld als eine Ebene, so können nun durch den Hinzutritt des zweiten Auges beliebige Theile des Sehfeldes aus der Ebene heraustreten. Diese geht in eine anders geformte, nach den speciellen Bedingungen des Sehens wechselnde Oberfläche über. Denn geometrisch ist im monocularen Sehen nur eine einzige Oberfläche möglich, weil sich mit den nach zwei Dimensionen geordneten Localzeichen die Spannungsempfindungen nur eindeutig verbinden lassen. Als binoculares Sehfeld ist dagegen eine beliebig gestaltete Oberfläche denkbar, weil sich mit den Elementen, die das eine Auge zur Messung liefert, diejenigen des andern in variabler, also vieldeutiger Weise verbinden können. Denken wir uns, um dies durch ein Gleichniss zu versinnlichen, einen festen Punkt und eine Gerade gegeben, die, von dem Punkt ausgehend, in jede beliebige Richtung gebracht werden kann, so lässt sich mit diesen zwei Elementen nur eine einfache Oberfläche construiren, nämlich eine Kugeloberfläche oder, wenn die Gerade unendlich groß ist, eine Ebene. Denken wir uns dagegen zwei feste Punkte und zwei von denselben ausgehende Gerade von continuirlich veränderlicher Richtung gegeben, deren Schnittpunkte eine Oberfläche bilden sollen, so lässt sich mit diesen vier Elementen eine Oberfläche von beliebiger Gestalt gewinnen. In der That entspricht dieses Gleichniss den Verhältnissen am Auge. Nur werden hier die Richtungen der erzeugenden Geraden, der Blicklinien, selbst erst mittelst der Localzeichen und Spannungsempfindungen festgestellt. Vermöge der Bewegungsgesetze des Auges sind ferner diejenigen Richtungen des Sehens bevorzugt, für welche die Auffassungen des ruhenden und des bewegten Auges übereinstimmen. Dies sind die durch den Blickpunkt gehenden Richtlinien (S. 537 ff.), die in dem kugelförmigen Blickfeld als größte Kreise, in kleineren Strecken des Sehfeldes als gerade Linien erscheinen. Da nun bei der Ausmessung der Distanzen immer nur solche kleinere Strecken benutzt werden, so ist die Gerade für das Auge das natürliche Messungselement. Die Beschaffenheit der Richtlinien hat aber ihren physiologischen Grund in der Eigenschaft unserer Muskeln, ihre Ansatzpunkte um feste Achsen zu drehen, woraus auch die ebene Beschaffenheit des Tastraumes hervorgeht. Darum ist der Gesichtsraum gleichfalls ein ebener Raum, in welchem zur Construction der Sehfeldfläche drei Dimensionen erfordert werden.

Unbestimmt bleibt hierbei zunächst nur noch der den Localzeichen der beiden Netzhautmitten entsprechende Punkt im Raum, der Fixirpunkt, der, da alle Tiefenwahrnehmung in Beziehung auf ihn relativ ist,

die Bedeutung eines absoluten Orientirungspunktes besitzen muss. Diese Bedeutung wird allerdings dadurch wesentlich eingeschränkt, dass innerhalb solcher Gesichtswahrnehmungen, die nur den Convergenzpunkt und ein beschränktes Sehfeld um denselben enthalten, die Tiefenlage dieses Punktes zu einer unbestimmten wird und nur secundär, durch reproductive Elemente früherer Wahrnehmungen, allmählich eine nähere Bestimmung gewinnen kann. Diese Unsicherheit hört aber auf, sobald der Sehende selbst mit Theilen seines Leibes zu einem Bestandtheil des Gesichtsfeldes wird. Dann wird nämlich die Tiefenlage des Orientirungspunktes zu einer unmittelbar wahrgenommenen. Denn sie ergibt sich nun aus dem nämlichen complexen Localzeichensystem der Tiefe, das allen andern Punkten des Sehfeldes ihre Lage zum Orientirungspunkt anweist. Dieser selbst ist daher jetzt durch seine Beziehung zum Sehenden orientirt. Der Ort des Sehenden, der übrigens je nach den besonderen Bedingungen der Wahrnehmung wieder eine verschiedene Stelle im Körper einnehmen kann, ist auf diese Weise der letzte Orientirungspunkt für alle räumlichen Vorstellungen, mögen sie nun durch den Gesichts- oder Tastsinn oder durch beide zusammen entstehen. Ist es der Gesichtssinn allein, der die Wahrnehmung vermittelt, so bildet, so lange die normale binoculare Synergie besteht, der Mittelpunkt der die Visirlinien beider Augen verbindenden Basaldistanz den Orientirungspunkt. Bei einäugigem Sehen oder bei gestörter Synergie rückt er in die Gesichtslinie des dominirenden Auges. Wirkt der Tastsinn bei der Localisation mit, oder bestimmt er dieselbe ausschließlich, so nimmt endlich der absolute Orientirungspunkt andere, von den besonderen Bedingungen abhängige Lagen an, die mit den im vorigen Capitel erörterten Orientirungsmomenten des Tastsinns zusammenhängen (vgl. oben S. 472 ff.).

Das entwickelte Localzeichensystem ist zunächst ein monoculares. Die durchweg aus qualitativ verschiedenen Elementen bestehenden Systeme der Netzhautlocalzeichen beider Augen einerseits und die Synergie der binocularen Augenbewegungen anderseits bewirken nun aber weiterhin, dass sich bei der Function des Doppelauges die monocularen complexen Localzeichenreihen zu noch zusammengesetzteren binocularen Reihen verbinden. Indem sich diese um die beiden durch die Synergie der Augenbewegungen ebenso wie durch die Anordnung der zwei festen Localzeichensysteme der Netzhäute einander zugeordneten Elemente der beiden Netzhautcentren oder der Fixirpunkte gruppiren, bildet sich so ein complexes Localzeichensystem zweiter Ordnung, dessen einzelne Glieder die Bedeutung von Localzeichen der Tiefe gewinnen. Dabei ist für die letzteren das aus dem Gesetz der übereinstimmenden Höhenstellung bei den Augenbewegungen entspringende Princip maßgebend,

dass die Localzeichensysteme beider Augen einander für gleiche Höhenabstände constant, für gleiche Breitenabstände aber variabel zugeordnet sind. Die Localzeichen der Tiefe lassen sich daher auch als Verbindungen der beiden monocularen Systeme definiren, deren Raumwerthe sich je nach der Richtung der zwischen den monocularen Systemen vorhandenen Breiteverschiebungen verändern.

Neben denjenigen Elementen, welche die ursprüngliche Verschmelzung der Empfindungen erzeugen, sehen wir endlich die Gesichtsvorstellung noch von einer Reihe anderer Einflüsse abhängig, die sich schon durch ihren späteren Eintritt im Laufe des Lebens sowie durch größere Wandelbarkeit als Bestimmungsgründe secundärer Art verrathen. Hierher gehören die Einflüsse der Perspective und Luftperspective, zufällig oder absichtlich wachgerufener Vorstellungen u. dergl. In allen diesen Fällen handelt es sich um eine Veränderung der Vorstellung durch losere und darum wechselndere Associationen. Aber auch hier sind, wie oben eingehend nachgewiesen wurde, als primäre Factoren stets zugleich die Momente der Bewegung des Auges und der Ordnung der Netzhautelemente wirksam, so dass die Vorstellung wiederum ein eindeutiges und nothwendiges Product ihrer Elemente ist.

Den oben entwickelten Voraussetzungen der Theorie der complexen Localzeichen lässt sich eine exactere und zugleich einfachere Form geben, wenn man hier die von H. GRASSMANN in die mathematische Mannigfaltigkeitslehre eingeführte Symbolik verwerthet[1]. Gehen wir demnach von der Zerlegbarkeit des complexen Localzeichensystems in zwei einfache Systeme aus, so ist das erste dieser Componentensysteme als ein in der Netzhaut festes vorauszusetzen. Denken wir uns daher um das Centrum derselben als Mittelpunkt concentrische Kreise gezogen, so mögen diese festen Localzeichen einer Reihe von Punkten auf einem ersten Kreise mit $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4 \ldots$, auf einem zweiten mit $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \ldots$ bezeichnet werden, u. s. w. Hierbei wird eine stetige Veränderung sowohl von α_1 nach $\beta_1, \gamma_1 \ldots$ wie von α_1 nach α_2, α_3 u. s. w. vorausgesetzt, so dass sämmtliche Localzeichen ein Continuum von zwei Dimensionen bilden. Von einer besonderen Bezeichnung der inneren Druckempfindungen des Auges sehen wir hierbei ab, da sie als ergänzende Elemente der localen Färbungen der Netzhautempfindungen diesen primären Localzeichen zugerechnet werden können (S. 672). Von dem zweiten Componentensystem nehmen wir an, dass es stetig veränderlich mit der Bewegung des Auges sei, aber bei ruhendem Auge durch reproductive Elemente wirksam werde. Es wird ferner vorausgesetzt, dass sich dieses System nur in einer Richtung verändere, indem der Bewegung des Netzhautcentrums nach irgend einem Punkt der Reihe $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \ldots$ ein Zeichen x_1, ebenso nach einem der Reihe $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \ldots$ ein solches x_2 entspreche u. s. w. Die Localzeichen des zweiten Systems bilden so ein Continuum von einer

[1] H. GRASSMANN, Ausdehnungslehre von 1844[2]. 1878, S. 19 ff.

Dimension. Beide Systeme werden aber bezogen auf das Netzhautcentrum, das die Localzeichen μ und x besitzen möge, wobei man unter x diejenige Spannungsempfindung verstehen kann, die der jedesmal vorhandenen Stellung des Auges entspricht. Findet nun, während das Auge in irgend einer Stellung fixirt ist, ein gleichförmig über die Netzhaut verbreiteter Lichteindruck r statt, so würde derselbe, wie wir voraussetzen, ohne das Vorhandensein des complexen Localzeichensystems eine Empfindung e verursachen, die weder localisirt noch in extensiver Form vorgestellt würde. Durch die Localzeichensysteme wird jedoch die Empfindung für jeden Punkt der Netzhaut ein complexes Product aus drei Elementen. Der Netzhautmitte entspricht das Product $e\mu x$, und um die Netzhautmitte bilden die Producte

$$e\alpha_1 x_1,\quad e\alpha_2 x_1,\quad e\alpha_3 x_1,\quad e\alpha_4 x_1\quad \ldots$$
$$e\beta_1 x_2,\quad e\beta_2 x_2,\quad e\beta_3 x_2,\quad e\beta_4 x_2\quad \ldots \text{ u. s. w.}$$

Empfindungsreihen, zwischen denen und deren einzelnen Gliedern eine stetige Abstufung der Empfindung stattfindet. Da das Auge fixirt gedacht ist, so wird x in dem Producte $e\mu x$ unmittelbar empfunden, während x_1, x_2, x_3 ... bloß reproductiv in die Producte $e\alpha_1 x_1$, $e\beta_1 x_1$ ... eingehen. Sollen x_1, x_2, x_3 ... unmittelbar empfunden werden, so muss sich das Auge bewegen. Hierbei sind dann aber in $e\alpha_1 x_1$, $e\beta_1 x_1$ ... die beiden Localzeichenelemente, so lange die Bewegung dauert, stetig veränderlich. Denn wenn der Blickpunkt des Auges am Ende der Bewegung auf denjenigen Punkt eingestellt ist, der vor dem Beginn derselben dem Localzeichen α_1 entsprach, so hat während der Bewegung das erste Localzeichen alle Werthe von α_1 bis μ und das zweite alle Werthe von x bis x_1 durchlaufen, und in der neu gewonnenen Stellung entspricht der Erregung der Netzhautmitte nicht mehr die Empfindung $e\mu x$, sondern $e\mu x_1$. Demnach unterscheiden sich die Localzeichen der Netzhautmitte dadurch, dass alle ihre Elemente, so lange das Auge fixirt bleibt, unmittelbar empfunden werden und dauernd sind, während von den übrigen die der x-Reihe angehörenden Elemente bloß dann unmittelbar empfunden werden, wenn sich das Auge bewegt, wobei sie sich aber in diesem Falle zugleich stetig während der ganzen Dauer der Bewegung verändern. Fasst man dann weiterhin eine stetige lineare Strecke von gleichförmiger Richtung als das Product ihrer beiden Endpunkte auf, ähnlich wie ein Rechteck als das Product der zwei dasselbe als Grundlinie und Höhe begrenzenden geradlinigen Strecken, so ist das Product $e\mu x \,.\, e\varphi_n x_n$ äquivalent der Punktreihe

$$e\mu x + e\alpha_n x_1 + e\beta_n x_2 + e\gamma_n x_3 \ldots + e\varphi_n x_n$$

samt allen Punkten, die zwischen zwei auf einander folgenden Gliedern angenommen werden können, wenn wir uns alle diese Punkte additiv verbunden denken. Wird die nach einer dazu senkrechten Richtung vom Mittelpunkt des Sehfeldes aus gemessene lineare Strecke durch das Product $e\mu x \,.\, e\varphi_r x_n$ bezeichnet, so stellt demnach, wenn wir beide lineare Strecken als sehr klein voraussetzen, $e\mu x \,.\, e\varphi_n x_n \,.\, e\varphi_r x_n$ ein Flächenelement dar, und eine ausgedehnte extensive Vorstellung wird durch eine Summe solcher Producte, also symbolisch durch

$$e \,.\, \sum \mu x \,.\, \varphi_n x_n \,.\, \varphi_r x_n$$

ausgedrückt werden können, wobei das Summenzeichen die Bedeutung hat, dass eine stetige Reihe von Producten von der angegebenen allgemeinen Form additiv verbunden werde.

Beim Uebergang vom monocularen zum binocularen Sehen verbindet sich nun das so definirte Empfindungsproduct mit dem ihm entsprechenden des zweiten Auges. Indem sich aber dabei die binocularen Complexreihen um die beiden einander zugeordneten Elemente μ_0 und γ_λ des festen Localzeichensystems, die den Netzhautmitten zugehören, gruppiren, bildet sich das Localzeichensystem zweiter Ordnung, dessen einzelne Glieder die Localzeichen der Tiefe sind. Hierbei lassen sich nun diese wieder als Producte der beiden monocularen Systeme im Sinne der geometrischen Multiplication definiren, während zugleich die Bedingung besteht, dass die Höhenverschiebungen für beide Systeme stets die gleichen Werthe besitzen. Es hängen dann die Localzeichen der Tiefe nur noch mit den Breiteverschiebungen zusammen, die gegen einander in jeder Richtung variirbar sind. Diese auf die Netzhautmitten als Nullpunkte bezogenen Verschiebungen der complexen Localzeichenreihen können daher, wenn wir die äußeren (temporalen) Theile der dem Netzhauthorizont parallelen Meridiane als positiv, die inneren (nasalen) als negativ bezeichnen, beide positiv oder negativ oder aber die eine positiv und die andere negativ, und alles dies wieder in gleicher oder abweichender Größe sein. Diesen variabeln Breiteverschiebungen der complexen Localzeichen entsprechen dann die zugehörigen Raumwerthe in dem Sinne, dass positive Verschiebungen Nahewerthe, negative Fernewerthe in Bezug auf den dem Product $\mu_0 x_0 \cdot \mu_\lambda x_\lambda$ entsprechenden Fixationspunkt bedeuten.

In der geschichtlichen Entwicklung der Theorien über das räumliche Sehen ist die klare Scheidung der gegenwärtig mit den Namen der nativistischen und empiristischen Theorie bezeichneten Anschauungen nur allmählich eingetreten. In der älteren Physiologie und Psychologie werden durchgängig gewisse Eigenschaften der Gesichtsvorstellung, wie die räumliche Ordnung der Empfindungen überhaupt, die Wahrnehmung der Richtung der Objecte, als angeboren, andere, wie die Auffassung der Entfernung und Größe, als durch Erfahrung erworben betrachtet. Es hängt dies mit der schon von CARTESIUS[1] sehr bestimmt ausgesprochenen Meinung zusammen, dass der Raum ein Bestandtheil unserer Wahrnehmung sei, dem allein eine objective Wahrheit zukomme, während Licht, Farbe, überhaupt die Qualität der Empfindung als eine dunkle oder, wie LOCKE[2] es ausdrückte, als eine bloß subjective Eigenschaft der Vorstellung angesehen wird. In einer geläuterten Form kehrt schließlich dieselbe Ansicht in KANTS Lehre von den Anschauungsformen wieder, durch die angeregt J. MÜLLER den neueren physiologischen Nativismus begründete[3]. Auch nach MÜLLER ist übrigens das ursprüngliche Sehen ein flächenhaftes, die Vorstellung über die Entfernung der Objecte, die davon abhängige scheinbare Größe derselben sowie die Tiefenwahrnehmung sind nicht angeboren, sondern erst durch Erfahrung erworben[4]. Noch größere

[1] Principes de la philosophie, II. Oeuvres publ. par COUSIN, t. 3, p. 120.
[2] Essay on human understanding. Book 2, Chap. VIII, § 9 f.
[3] J. MÜLLER, Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns, 1826, besonders S. 56, 74 ff.
[4] J. MÜLLER, Handbuch der Physiologie, Bd. 2, 1837, S. 361.

Zugeständnisse machte VOLKMANN dieser letzteren, indem er zwar die Ursprünglichkeit der reinen Raumanschauung annahm, aber sogar die Vorstellung der Richtung und das Aufrechtsehen aus der Erfahrung ableitete, wobei er den Muskelempfindungen einen wichtigen Einfluss zuwies[1]. Auch in Bezug auf das Doppelauge hielt er trotz der mittlerweile geschehenen Entdeckung des Stereoskops durch WHEATSTONE an der Identitätslehre fest[2]. Dieser zwischen Nativismus und Empirismus die Mitte haltende Standpunkt hat bis auf die neueste Zeit Vertreter gefunden[3]. Auch die philosophischen Ansichten SCHOPENHAUERS entsprechen im wesentlichen demselben; sie sind nur dadurch eigenartig, dass die intellectuellen Operationen, die den Einfluss der Erfahrung auf die Gesichtsvorstellungen begründen, als »intuitive Verstandesthätigkeiten« von den bewussten Verstandeshandlungen unterschieden[4], und dass das Causalprincip auf den Wahrnehmungsvorgang angewandt wird, indem SCHOPENHAUER die Beziehung der Eindrücke auf ein äußeres Object als eine Bethätigung des angeborenen Causalbegriffs ansieht[5]. Nun stößt die Annahme, die angeborenen Raumanschauungen seien an und für sich subjectiv, und erst mittelst besonderer Erfahrungen und Verstandeshandlungen würden sie auf äußere Objecte bezogen, auf die Schwierigkeit, dass sich in der Erfahrung selbst ein Auseinanderfallen dieser verschiedenen Acte nicht nachweisen lässt. So liegt denn der Versuch nahe, auch die Beziehung auf Außendinge als eine ursprüngliche anzusehen. Hierin wurzelt eine Modification der nativistischen Ansicht, die wir die Projectionshypothese nennen können[6]. Sie besteht darin, dass man der Netzhaut die angeborene Fähigkeit zuschreibt, ihre Eindrücke in der Richtung bestimmter gerader Linien, entweder der Richtungsstrahlen oder der Visirlinien, nach außen zu verlegen. PORTERFIELD[7], TOURTUAL[8], VOLKMANN[9] in einer früheren Arbeit u. A. vertreten diese Anschauung.

Sowohl die subjective Identitäts- wie die Projectionshypothese scheiterten schließlich an den Erscheinungen des Binocularsehens. Die erstere erklärte nicht, warum wir thatsächlich auch solche Gegenstände einfach sehen, die sich auf nicht-identischen Punkten abbilden. Zur Beseitigung dieser Schwierigkeit

---

[1] VOLKMANN, Art. Sehen in WAGNERS Handwörterbuch, Bd. 3, 1, S. 316, 340 f.

[2] Ebend. S. 317. Archiv für Ophthalmologie, Bd. 5, 2, 1859, S. 86.

[3] Vgl. z. B. CLASSEN, Ueber das Schlussverfahren des Sehactes. 1863. Gesammelte Abhandlungen zur physiologischen Optik. 1868, Abhandl. I u. III. EBBINGHAUS, Grundzüge der Psychologie. Bd. 1, S. 424, u. A.

[4] SCHOPENHAUER, Ueber das Sehen und die Farben[2]. 1854, S. 7.

[5] SCHOPENHAUER, Die vierfache Wurzel des Satzes vom zureichenden Grunde[3]. 1864. S. 51 ff.

[6] Dieser Ausdruck ist allerdings in viel weiterem Sinne gebraucht worden. Es scheint aber zweckmäßig, ihn auf jene Ansichten zu beschränken, die eine angeborene oder mindestens eine fest gegebene Beziehung der Netzhautpunkte zu den Punkten im äußeren Raum voraussetzen.

[7] On the eye. vol. 2, 1759, p. 285.

[8] Die Sinne des Menschen. 1827.

[9] VOLKMANN, Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns. 1836. Eine analoge »specifische Empfindung für Fernqualitäten des Lichtes«, bei der zugleich die mit der Entfernung der Lichtquellen eintretenden Veränderungen der Helligkeit und Farbe bestimmend sein sollen, ist auch noch von GEORG HIRTH angenommen worden. Seinen Ausführungen liegt die gegenüber den oben erwähnten halb-nativistischen Hypothesen wohl berechtigte Bemerkung zu Grunde, dass die Wahrnehmung der Tiefe nicht minder eine unmittelbare Anschauung und kein Urtheil sei, wie die räumliche Wahrnehmung überhaupt (G. HIRTH, Das plastische Sehen als Rindenzwang. 1892).

ersann man daher verschiedene Hülfshypothesen. Brücke[1] nahm an, die Verschmelzung vollziehe sich in Folge von Augenbewegungen, bei denen der Fixationspunkt über die verschiedenen Punkte eines Objectes hinwandere. Dies wurde aber durch zuerst von Dove[2] ausgeführte Versuche widerlegt, welche zeigten, dass eine Verschmelzung stereoskopischer Objecte auch noch bei der instantanen Erleuchtung durch den elektrischen Funken geschehen kann. Volkmann[3] nahm daher unbestimmtere psychische Thätigkeiten, theils die Unaufmerksamkeit auf Doppelbilder theils die Erfahrung über die thatsächliche Einfachheit der Objecte, zu Hülfe. An dem entgegengesetzten Uebelstand litt die Projectionshypothese. Sie vermochte die binocularen Doppelbilder nicht zu erklären. Wenn die Bilder nach den Richtungsstrahlen oder Visirlinien verlegt würden, so müsste ein normales Sehorgan eigentlich alles einfach sehen, da die einem leuchtenden Punkt entsprechenden Richtungsstrahlen stets in diesem Punkte sich schneiden. In der That ist nun beim gewöhnlichen Sehen die einfache Wahrnehmung so sehr vorherrschend, dass noch Donders[4] die Projectionshypothese in etwas limitirter Form als einen wenigstens für die Mehrzahl der Fälle richtigen Ausdruck der Erscheinungen vertheidigte. In anderer Weise suchte Nagel[5] die Schwierigkeiten derselben zu beseitigen. Er nahm eine unabhängige Projection der beiden Netzhäute auf zwei verschiedene Kugelflächen an, die sich im Fixationspunkte schneiden und beim Sehen in unendliche Ferne in eine einzige Ebene übergehen. Dabei verließ freilich Nagel den Standpunkt der nativistischen Theorien insofern, als er die Projection nach den Visirlinien mittelst der Muskelempfindungen zu stande kommen ließ und entschieden gegen die Identitätshypothese auftrat, die übrigens auch bei der nativistischen Form der Projectionstheorie nicht aufrecht erhalten werden kann, obzwar man sich über diese Unverträglichkeit beider nicht immer klar gewesen ist. Die Nagel'sche Theorie erklärt so im allgemeinen die Entstehung der Doppelbilder; doch steht sie mit der Thatsache in Widerspruch, dass das binoculare Sehfeld in Wirklichkeit eine außerordentlich wechselnde Form hat, und dass auch die häufigste Form desselben für beide Augen eine gemeinsame Projectionsoberfläche darstellt, die in ihrem oberen Theil einer Kugeloberfläche, in ihrem untern der scheinbar ansteigenden Fußbodenebene zugehört (S. 612). Darum stimmt die nach der Nagel'schen Hypothese berechnete Lage der Doppelbilder für die meisten Fälle nicht genau mit der wirklichen überein.

Da die subjective Identitätshypothese im allgemeinen über die Erscheinungen des Doppelsehens, nicht aber über die Verschmelzung der Doppelbilder und die Tiefenwahrnehmung, die Projectionshypothese über die letztere, dagegen nicht über die Doppelbilder Aufschluss gab, so suchte man nunmehr die nativistische Theorie in eine Form zu bringen, in der sie wo möglich diesen beiden Ansprüchen gerecht werde. Diese Versuche gehen von der Identitätshypothese aus. Sie nehmen an, dass ursprünglich und vorzugsweise nur Eindrücke identischer Stellen einfach empfunden werden, suchen dann

[1] Müllers Archiv, 1841, S. 459.
[2] Berichte der Berliner Akademie, 1841, S. 252.
[3] Archiv für Ophthalmologie, Bd. 5, 2, S. 86.
[4] Archiv für Ophthalmologie, Bd. 17, 2, 1871, S. 7 ff.
[5] Das Sehen mit zwei Augen, 1861, S. 5, 99 ff.

aber andere, ebenfalls angeborene Hülfseinrichtungen zu ersinnen, die unter Umständen auch die Verschmelzung nicht-identischer Eindrücke und die Tiefenvorstellung vermitteln könnten. So nahm PANUM an, jedem Punkte der einen Netzhaut sei nicht bloß ein identischer Punkt, sondern ein correspondirender Empfindungskreis der andern zugeordnet. Mit identischen Punkten müsse, mit correspondirenden könne einfach gesehen werden, von der Parallaxe der verschmelzenden nicht-identischen Punkte sei aber das »Tiefengefühl« abhängig. Neben diesem, das er als »Synergie der binocularen Parallaxe« bezeichnete, nahm er noch eine »binoculare Energie der Farbenmischung« und eine ebensolche des »Alternirens der Empfindungen« an; die Begrenzungslinien wurden von ihm als Nervenreize betrachtet, welche die verschiedenen Energien vorzugsweise leicht auslösen[1]. Hier war also einfach jede Erscheinung auf eine ursprüngliche Eigenschaft der Netzhaut zurückgeführt. Nun traf es sich aber, dass diese verschiedenen Energien offenbar mit einander in Widerstreit geriethen: so die der Farbenmischung mit der des Alternirens, so die Verschmelzung identischer Punkte mit der Verschmelzung nicht-identischer vermöge der Synergie der binocularen Parallaxe. Uebrigens hat PANUM das Verdienst, bereits auf die Bedeutung der dominirenden Linien im Sehfelde hingewiesen zu haben, wobei er freilich noch nicht erkannte, dass ihnen diese Bedeutung erst durch ihren Einfluss auf die Bewegung des Auges zukommt. Die oben in ihren Grundzügen erörterte nativistische Theorie HERINGS ist im wesentlichen eine Weiterbildung dieser Synergienlehre PANUMS. Jeder Netzhauteindruck soll nach HERING drei verschiedene Arten von »Raumgefühlen« mit sich führen: ein Höhen-, Breiten- und Tiefengefühl. Die beiden ersten bilden zusammen das Richtungsgefühl für den Ort im gemeinsamen Sehfeld, sie sind für je zwei identische Punkte von gleicher Größe. Das Tiefengefühl dagegen hat für je zwei identische Punkte gleiche Werthe von entgegengesetzter Größe, so dass ihnen der Tiefenwerth null entspricht. Alle Bildpunkte, die diesen Tiefenwerth null haben, erscheinen in einer Ebene, der »Kernfläche des Sehraums«. Dagegen haben die Tiefengefühle der äußeren Netzhauthälften positive Werthe, d. h. ihre Bildpunkte liegen hinter der Kernfläche, die inneren negative, ihre Bildpunkte liegen vor der Kernfläche. Nur die Eindrücke der correspondirenden Punkte, die, wie oben bemerkt, wegen der geneigten Lage der verticalen Meridiane, nicht mit den identischen J. MÜLLERS zusammenfallen, werden einfach empfunden; wo sonst eine Verschmelzung eintritt, da wird diese aus psychologischen Ursachen, insbesondere auch aus der Unaufmerksamkeit auf die verschiedene Größe der Tiefengefühle abgeleitet. In solchen Fällen sollen dann die disparaten Bilder nach ihren mittleren Tiefengefühlen localisirt werden: so auch bei den stereoskopischen Erscheinungen. Der Rolle, die in dieser Theorie die Begriffe des Willens und der Aufmerksamkeit spielen, ist schon oben gedacht worden[2].

---

[1] PANUM, Ueber das Sehen mit zwei Augen. 1858, S. 59, 82 f.

[2] HERING, Beiträge zur Physiologie. 1861—64, S. 159, 289, 323 ff. Raumsinn des Auges, in HERMANNS Handbuch der Physiologie, Bd. 3, 1, S. 386 ff. Eine von C. STUMPF entwickelte Hypothese trifft in Bezug auf die ursprünglichen Raumempfindungen der Netzhaut mit HERINGS Ansichten nahe zusammen. Doch setzt STUMPF keine einfache Kernfläche des Sehraumes, sondern, ähnlich wie früher NAGEL, für jedes Auge eine Kugeloberfläche als besondere Projectionssphäre voraus; ferner vermuthet er, dass die Tiefenempfindungen aus verschiedenen Momenten, wie Accommodation, Convergenz, undeutlich gesehenen Dop-

Die empiristische Theorie hat ihre erste bedeutendere Gestaltung in BERKELEYS »Theorie des Sehens« gewonnen[1]. Als ein wesentliches Hülfsmittel der Gesichtsvorstellungen zieht schon BERKELEY die Tastempfindungen herbei, ein Zug, der meistens der empiristischen Theorie eigen geblieben ist[2]. In der Schilderung der psychischen Processe des Wahrnehmungsvorganges bediente er sich im allgemeinen der logischen Interpretation, betonte jedoch namentlich bei der Darstellung der angeblichen Einflüsse des Tastsinns auf den Gesichtssinn außerdem schon die gewohnheitsmäßige Association der Vorstellungen. Ein Ueberlebniss dieser älteren Reflexionspsychologie ist die Annahme »unbewusster Schlüsse« in der neueren Sinnesphysiologie, die zudem an Bemerkungen KANTS[3] über die Existenz unbewusster Vorstellungen sowie besonders an SCHOPENHAUERS Lehre von der »Intellectualität der Anschauung« anklingt[4]. Ohne diese Beziehungen zu kennen, suchte ich selbst in meinen frühesten Arbeiten die psychologische Natur der bei der Bildung der Gesichtsvorstellungen wirksamen Vorgänge überall auf ein unbewusstes Schlussverfahren zurückzuführen[5], dabei aber zugleich auf die schöpferische Natur jener Synthese der Empfindungen hinweisend, wodurch sie sich von den gewöhnlichen Erfahrungsschlüssen wesentlich unterscheide[6]. HELMHOLTZ[7] erblickte in einer früheren Darstellung besonders in den Gesichtstäuschungen sowie in den stereoskopischen Wahrnehmungen die Resultate eines Denkens, das sich ohne unser Wissen und Wollen vollziehe; später schloss er sich der Annahme unbewusster Schlüsse auch in Bezug auf die ursprüngliche Bildung der Gesichtswahrnehmungen, die Ordnung des Sehfeldes u. s. w. an[8]. Einen wichtigen Fortschritt über diese logische Form der empiristischen Theorie bezeichnet hier die Associationspsychologie. An BERKELEY anknüpfend suchte sie zunächst die Tiefen- und Größenvorstellungen auf Associationen der unmittelbaren Wahrnehmungen mit früheren Vorstellungen zurückzuführen. Doch hinderte zunächst das die ganze Psychologie des 18. und zum Theil noch des 19. Jahrhunderts beherrschende Vorurtheil, das in dem Tastsinn gewissermaßen den Erzieher der übrigen Sinne sah, eine weitergehende Verwerthung des Princips für die Analyse der Gesichtsvorstellungen. Erst in der neueren Associationspsychologie trat allmählich eine gewisse Coordination beider Sinnesgebiete ein, wobei aber immerhin die Analogie mit den, wie man meinte, durchsichtigeren

---

pelbildern u. s. w., hervorgehen, die als Localzeichen der Tiefe wirken sollen. (C. STUMPF, Ueber den psychologischen Ursprung der Raumvorstellung. 1873.)

[1] BERKELEY, Theory of vision, vgl. bes. § 46, 129. Works, vol. 1, p. 259, 301.

[2] Am weitesten ging in dieser Beziehung CONDILLAC, der dem Gesicht und den andern Sinnen überhaupt keine selbständige Entwicklung zugestand. (Traité des sensations, t. 3, 3.) BERKELEY hatte noch angenommen, der Gesichtssinn schätze für sich allein die Entfernung der Objecte theils nach der Deutlichkeit des Bildes, theils nach der Accommodationsanstrengung des Auges ab (§ 23, 27, p. 243 ff.); CONDILLAC schreibt auch diese Vorstellungen der Hülfe des Tastsinns zu. Das Auge für sich allein empfindet nach ihm nur Licht und Farben; eine bunte Oberfläche würde es, auf sich selbst beschränkt, weder als Oberfläche noch in irgend einer andern räumlichen Beziehung auffassen (I, 11).

[3] Anthropologie. Werke, Bd. 7, 2, S. 21, 28.

[4] SCHOPENHAUER, Vierfache Wurzel des Satzes vom Grunde, S. 55.

[5] In meinen 1858—62 erschienenen Beiträgen zur Theorie der Sinneswahrnehmung.

[6] Beiträge, S. 442 f.

[7] HELMHOLTZ, Ueber das Sehen des Menschen. Ein populär-wissenschaftlicher Vortrag. 1855.

[8] HELMHOLTZ, Physiologische Optik[1], S. 427 ff.; [2] S. 576 ff.

Verhältnissen des Tastsinns noch eine wichtige Rolle spielte. So erblickte ALEX. BAIN eine solche Analogie vornehmlich darin, dass die Gesichts- ähnlich den Tastvorstellungen durch die Association der specifischen Sinnesempfindungen mit Bewegungsempfindungen entstünden. Die Linien- und Flächenvorstellungen sollen sich bilden, indem wir das Auge hin- und herbewegend verschiedene Intensitätsgrade der Bewegungsempfindung mit den Netzhauteindrücken verbinden; bei der Tiefenvorstellung sollen sodann die mit der Accommodation und Convergenz verbundenen Empfindungen wirksam sein[1]. Vor älteren Formen der empiristischen Theorie hat diese immerhin den Vorzug, dass sie dem Gesichtssinn eine selbständige Entwicklung zugesteht. Aber sie lässt vor allem den Einwand zu, dass sie die Processe der ursprünglichen Wahrnehmung von anderen Associationen, wie sie z. B. bei den secundären Hülfsmitteln der Tiefenwahrnehmung stattfinden, nicht zureichend unterscheidet. Zwischen beiden Formen associativer Verbindung besteht jedoch der wesentliche Unterschied, dass bei der gewöhnlichen Association die associirten Vorstellungen nicht ihre Eigenschaften einbüßen, während uns die ursprüngliche Raumanschauung ein ganz und gar neues Product entgegenbringt[2]. Dies hat auch JOHN STUART MILL, einer der Hauptvertreter der Associationspsychologie, zugestanden, indem er den Vorgang eine »psychische Chemie« nennt, ein Bild, welches die hier stattfindende Verschmelzung gut veranschaulicht, ohne freilich die bedeutsamste Seite derselben, den schöpferischen Charakter dieser psychischen Synthese hervorzuheben[3]. Die specielle Ableitung der Gesichtsvorstellungen, welche die englischen Psychologen gegeben, unterliegt übrigens dem Einwand, dass sie, wie dies bei jedem einfachen Localzeichensystem geschieht, die räumliche Eigenschaft irgend einer einzelnen Empfindungsqualität, in diesem Fall den Bewegungsempfindungen zuschreiben, während dieselbe thatsächlich überall als Product des Zusammenwirkens disparater Empfindungen zu stande kommt.

Alle Formen der empiristischen Theorie scheitern schließlich an dem inneren Widerspruch, dass die Wahrnehmung als Grundlage der Erfahrung selbst auf Erfahrung beruhen soll. Hält man an der Annahme fest, die Empfindung sei ursprünglich nicht räumlich bestimmt, so muss daher ein anderer, nicht auf Erfahrungsschlüssen oder Associationen fertiger Vorstellungen beruhender Vorgang angenommen werden. Hiermit erst ist der Uebergang gewonnen zu den präempiristischen Associations- oder Verschmelzungstheorien. HERBART gebührt hier das Verdienst, wohl als der Erste eine solche Theorie in logisch widerspruchsfreier, wenn auch freilich psychologisch unhaltbarer Form aufgestellt zu haben. Analog wie beim Tastsinn, so soll auch beim Gesichtssinn die Raumvorstellung aus den Lichtempfindungen hervorgehen, die bei der Bewegung des Auges successiv entstehen, und die in Folge der Hin- und Rückwärtsbewegung über die nämlichen Gegenstände mit ihren Reproductionen in abgestufter Intensität verschmelzen[4]. In dieser Reihentheorie, die aus den

---

[1] BAIN, The senses and the intellect[2], p. 245 f. Wesentlich übereinstimmende Ansichten entwickelte übrigens schon weit früher STEINBUCH, Beitrag zur Physiologie der Sinne. 1811, S. 140.

[2] Hinsichtlich dieser Unterschiede vgl. unten Abschn. V.

[3] MILL, System der deductiven und inductiven Logik. Deutsch von SCHIEL[3]. Bd. 2, S. 460.

[4] HERBART, Psychologie als Wissenschaft, 2. Werke, Bd. 6, S. 120 f.

früher (S. 499 ff.) geltend gemachten Gründen für widerlegt gelten kann, wurzelt LOTZES Theorie der Localzeichen. Beim Auge nahm LOTZE nicht, wie beim Tastorgan, Mitempfindungen, sondern Bewegungsempfindungen als Localzeichen an. Jede Netzhautreizung löse eine Reflexbewegung aus, durch die der Eindruck auf das Netzhautcentrum übergeführt werde. Sind solche Bewegungen einmal ausgeführt worden, so soll dann aber auch das ruhende Auge die Eindrücke in die räumliche Form bringen, indem verschiedene Bewegungsantriebe sich compensiren, wobei gleichwohl die von früherher jedem Eindruek associirte Bewegungsempfindung entstehe[1]. Diese Theorie schildert, wie ich glaube, den Einfluss der Bewegungsreflexe im wesentlichen richtig. Aber sie wird weder den thatsächlichen Einflüssen gerecht, welche die Analyse der extensiven Gesichtswahrnehmungen erkennen lässt, noch vermag sie zwischen diesen und jenen bloß intensiven Localzeichen irgend welche Beziehungen aufzuzeigen. Bestimmt man den Begriff des Localzeichens lediglich als einen durch die Erfahrung geforderten, dessen Aufgabe es ist, die empirisch nachweisbaren Bedingungen der räumlichen Wahrnehmung zum Ausdruck zu bringen, so wird es aber durchaus erforderlich, neben den intensiv abgestuften Spannungsempfindungen qualitative Verschiedenheiten der Localzeichen anzunehmen, so dass sich erst aus der Verschmelzung dieser verschiedenartigen Elemente die extensive Form des Sehfeldes entwickelt[2]. Dieser Ableitung des Sehfeldes hat sich, abgesehen von der Annahme unbewusster Analogieschlüsse, an der er festhielt, in den wesentlichen Punkten auch HELMHOLTZ angeschlossen. Dabei betrachtete er aber die Bewegungsempfindungen und die Localzeichen der Netzhaut als von einander unabhängige Hülfsmittel, deren jedes für sich schon räumliche Wahrnehmungen vermitteln könne. Außerdem hielt er die Annahme für nicht erforderlich, dass die Localzeichen eine stetige Mannigfaltigkeit bilden, sondern er glaubte, sie könnten beliebig über die Netzhaut vertheilt sein, da doch erst die Erfahrung einem jeden seine räumliche Bedeutung anweise[3]. In dieser Form kann aber die doppelte Localzeichenhypothese dem Einwand nicht entgehen, dass sie die in der wirklichen Entwicklung einander begleitenden Einflüsse willkürlich scheidet, und dass sie die räumliche Wahrnehmung, von der sie behauptet, sie sei in der ursprünglichen Empfindung nicht enthalten, in Wahrheit doch schon in die Empfindung, und zwar sowohl in die Bewegungsempfindungen wie in die Localzeichen der Netzhaut, hineinverlegt. An HERBARTS Vorstellungstheorie erinnert endlich einigermaßen eine Hypothese, die LIPPS entwickelt hat[4], nur dass dieselbe auf die Beihülfe der Bewegungen des Auges verzichtet, indem sie qualitative Localzeichen voraussetzt, die aber nicht an die Netzhaut, sondern an die objectiven Lichteindrücke gebunden seien. Da benach-

---

[1] LOTZE, Medicinische Psychologie, S. 353 ff. Vgl. hierzu die Bemerkungen LOTZES im Anhang zu C. STUMPF, Ueber den psychologischen Ursprung der Raumvorstellung, S. 315, und Revue philosophique, 1877, p. 346.

[2] Von den hier angedeuteten Gesichtspunkten aus habe ich zuerst in der 1859 in der Zeitschrift für rationelle Medicin erschienenen 3. Abhandlung meiner Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung (gesammelt 1862, S. 145 ff.) die Entstehung des Sehfeldes zu erklären gesucht.

[3] HELMHOLTZ, Physiologische Optik[1], S. 800, [2] S. 950.

[4] TH. LIPPS, Psychologische Studien. 1885, S. 1 ff. Vgl. auch dessen Grundthatsachen des Seelenlebens, S. 515 ff.

barte Netzhautpunkte im Durchschnitt häufiger von objectiv gleichen, entferntere von objectiv verschiedenen Reizen getroffen werden, so erblickt Lipps hierin ein Motiv für die Zusammenordnung benachbarter und die Sonderung entfernter Punkte. Aber erstens ist eine Proportionalität zwischen Entfernung der empfindlichen Punkte und Verschiedenheit des Lichteindrucks, wie sie hier vorausgesetzt werden müsste, um die Genauigkeit der extensiven Raummessungen zu erklären, schwerlich vorhanden, und zweitens bleibt nicht begreiflich, wie die Beziehung objectiv gleicher Eindrücke auf benachbarte und verschiedener auf entfernte Netzhautstellen anders geschehen sollte als durch irgend welche Merkmale, die an die Netzhautpunkte selbst geknüpft sind, da sonst, wenn einmal die Vertheilung der Lichtreize dieser gewohnheitsmäßigen Anordnung nicht entspräche, die Eindrücke verkehrt localisirt werden müssten. Auch dieser Theorie scheint — darin ist sie wohl der nativistischen verwandt — eine gewisse Abneigung gegen den in den älteren Theorien oft stark übertriebenen Einfluss der Bewegungen des Auges zu Grunde zu liegen. Dem gegenüber muss jedoch betont werden, dass die ausschließliche Betrachtung des Auges als eines optischen Apparates nicht minder einseitig ist. »Netzhautbild« und »Bewegungsbild« zusammen erzeugen eben erst das wirkliche Bild des Gegenstandes. Die Art und Weise, wie beide in einander greifen, kann aber nur mittelst der experimentellen Analyse der Gesichtswahrnehmungen selbst näher bestimmt werden, wie dies oben versucht wurde.

(Das Schlusscapitel des dritten Abschnitts folgt im dritten Bande.)

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.



